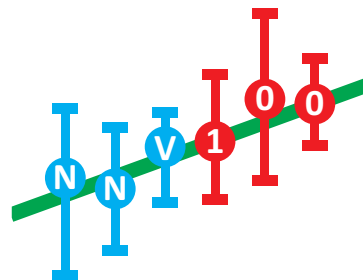


N NEDERLANDS TIJDSCHRIFT VOOR **NATUURKUNDE**

NUMMER 2 | JAARGANG 87 | FEBRUARI 2021

WWW.NTVN.NL



VERKIEZING NIEUWE VOORZITTER NNV

EEN NANOLENS MET EEN
AAN-UITSCHAKELAAR

UNIVERSITAIR ONDERWIJS
TIJDENS EEN PANDEMIE

EEN EEUW
NATUURKUNDEVROUWEN

COLOFON

NEDERLANDS TIJDSCHRIFT VOOR NATUURKUNDE

Het Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde is het maandelijkse tijdschrift van de Nederlandse Natuurkundige Vereniging en richt zich op de Nederlandstalige natuurkundige gemeenschap. Niets van deze uitgave mag op welke wijze dan ook gekopieerd of vervaelvuldigd worden zonder nadrukkelijke toestemming van de auteur(s) en de redactie. De auteursrechten van de artikelen in dit tijdschrift liggen bij de desbetreffende auteur(s).

NNV-BUREAU

Lidmaatschappen en abonnementen

Nederlandse Natuurkundige Vereniging
Noortje de Graaf (directeur), Anja Al en
Debora van Galen Last (secretaresse)
Postbus 41882, 1009 DB Amsterdam
Telefoon: 020-59 222 11
E-mail: bureau@nnv.nl
Website: www.nnv.nl

EINDREDACTIE

Artikelen en advertenties

Esger Brunner/ Marieke de Boer
Postbus 41882, 1009 DB, Amsterdam
Telefoon: 020-59 222 50
E-mail: ntvn@ntvn.nl
Website: www.ntvn.nl
Twitter: NTVN_tweets

HOOFDREDACTIE

Anneke de Leeuw, Els de Wolf

REDACTIE

Lodewijk Arntzen (TN-HH), Joost Bakker (RU Nijmegen), Rob van den Berg, Claud Biemans (Frontlinie), Sébastien de Bone (TUD & CWI), Roeland Boot (Thorbecke VO en DIFFER), Steven Bos (UL), Kasper van Dam (Nikhef), Stijn Debackere (UL), Menno van Dijk (Shell), Eduard Driessen (IRAM), Aernout van Enter (RUG), Vincent Icke (UL), Jeroen Kalkman (TUD), Herman de Lang, Marco van Leeuwen (Nikhef en UU), Frans van Lunteren (UL), Willeke Mulder (UL), Hans Muller, Rasa Muller (Nikhef), Jacco de Pooter (VSL), Gerard van Rooij (UM, DIFFER, TU/e), Wilfried van Sark (UU), Klaas Schonenberg, Michiel Thijssen, Wim Verkley (KNMI), Hugo Matthieu Visser, Bobby Vos (University of Cambridge), Henk Vrieling (U Gent), Robert Jan van Wijk (ASML), Anne-Marije Zwerver (TUD)

STUDENTENREDACTIE

Gianluca de Bruin (TUD), Rick ten Eikelder (Saxion), June Groothuizen (UvA), Joost de Kleuver (RU), Romaine Kunst (UT), Frank Rensen (UL), Iris Rommens (Fontys), Frank de Veld (TUE)

VORMGEVING

Studio Aschwin

DRUKWERK

Wilco Meppel

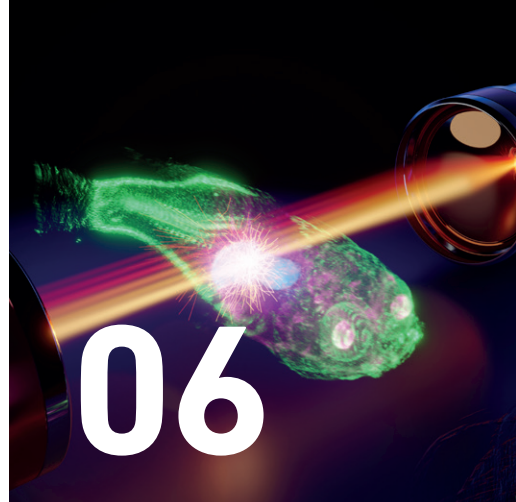
OPLAGE

4500, gedrukt op FSC-papier



UITGELICHT

Onderzoekers kijken diep in weefsel



ONDERZOEK

Een nanolens met een aan- uitschakelaar

BIJ DE LES

Energie in balans



STUDENT

Stage in Linköping

INHOUD

Bijkleuren REDACTIONEEL Claud Biemans	05
Onderzoekers kijken diep in weefsel UITGELICHT Jeroen Kalkman	06
Marsmissies UITGELICHT Frank de Veld	08
NNV-Diversiteitsprijs 2020 UITGELICHT	10
Martinus Veltman IN MEMORIAM Diederik Jekel	13
Christa Hooijer DE NATUURKUNDIGE Marieke de Boer	14
Petra Rudolf DE NATUURKUNDIGE Marieke de Boer	16
Sylvia Barlag DE NATUURKUNDIGE Esger Brunner	18
Een nanolens met een aan-uitschakelaar ONDERZOEK Jorik van de Groep en Marcel Vonk	20
Zwarte gaten belicht BOEKENPLANK Herman de Lang	25
De NNV in 2020 in vogelvlucht Noortje de Graaf	26
Universitair onderwijs tijdens een pandemie Dries van Oosten	28
Een eeuw natuurkundevrouwen: Caroline Emilie Bleeker en Marjolein Dijkstra Margriet van der Heijden	32
De weg van Martin Schuurmans BOEKENPLANK Matthieu Visser	37
Een eeuw fysica - deel 2 TERUG IN DE TIJD Herman de Lang	38
Hoe bij te dragen aan een inclusievere natuurkundewereld? - interview met Saskia Blom DE NATUURKUNDIGE Willeke Mulder	44
Energie in balans BIJ DE LES Hans van Bommel	48
Stage in Linköping STUDENT Rick ten Eikelder	50
NNV-Nieuws Noortje de Graaf	55



Illustratie: Dreamstime - Maria Rossiitseva

VERKIEZING NIEUWE VOORZITTER NNV

NNV-leden kiezen deze maand een nieuwe voorzitter via een webverkiezing. De winnaar draait eerst een jaar als vicevoorzitter mee in het bestuur. De kieslijst bestaat (in alfabetische volgorde) uit: Christa Hooijer, Petra Rudolf en Sylvia Barlag. Interviews met elk van de kandidaten vindt u in dit *NTvN*.

14 Christa Hooijer
"Het is geweldig dat de NNV er is"

16 Petra Rudolf
"We moeten een nieuw evenwicht zien te vinden"

18 Sylvia Barlag
"Een visie vorm je niet alleen, maar samen"

Omdat de NNV in 2021 haar 100-jarig bestaan viert, bieden we een gratis set van 6 nieuwe posters aan voor in het natuurkundelokaal. Ze zijn niet alleen aantrekkelijk qua uiterlijk, maar ze zijn ook informatief. Perfect voor in je lokaal!

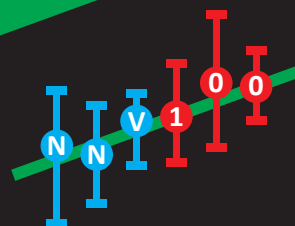
Gratis posters!



Elke poster heeft een QR-code die leidt naar een bijbehorend filmpje. Bestellen kan eenvoudig door een mailtje te sturen naar bureau@nnv.nl. Geef dan ajb aan welk formaat je wilt ontvangen (A1 of A2).



Nederlandse Natuurkundige Vereniging (NNV)
www.nnv.nl
bureau@nnv.nl



BIJKLEUREN

Honderd jaar heeft het geduurd, maar dit jaar krijgt de nieuw gekozen voorzitter van de NNV een vrouwelijk gezicht. Daarom een compliment voor de kiescommissie, die drie natuurkundige zwaargewichten bereid vond zich kandidaat te stellen. Alle drie vrouw met bestuurlijke ervaring in brede kringen. Het liefst zou ik zien dat ze alle drie een leidende positie krijgen binnen de vereniging. Dat wordt dus moeilijk kiezen.

Als je erover nadenkt, is er best vaak een gelegenheid om natuurkunde een diverser en inclusiever gezicht te geven. Binnen de NTvN-redactie is dat de afgelopen paar jaar voortdurend gestimuleerd door de hoofdredacteurs Els de Wolf en Anneke de Leeuw. Als je dan toch een aantal mensen interviewt, waarom zit daar dan geen vrouw bij? Goed, er zijn veel mannelijke natuurkundigen in ons land, maar ook echt wel steeds meer dames. Kijk maar naar dit nummer. Eens in de honderd jaar een nummer van het NTvN waarin vrouwen de hoofdrol spelen, dat werd wel eens tijd.

Gestimuleerd door artikelen in de onderwijsnummers van dit blad maak ik bij mijn eigen werk ook steeds vaker keuzes voor diversiteit. Bij het uitzoeken van beeldmateriaal kan ik een evenwichtige selectie maken, waarin de jonge lezers van alle achtergronden zichzelf ergens kunnen herkennen. En als ik een verhaal schrijf over het heelal voor een natuurkundeschoolboek, kan dat best gaan over Sepideh Hooshyar, dochter van een arme weduwe uit een dorp in Iran. Ze werd geïnspireerd door filmpjes van Anousheh Ansari, de eerste vrouwelijke ruimtetoerist die in 2006 werd gelanceerd voor een reis naar het internatio-

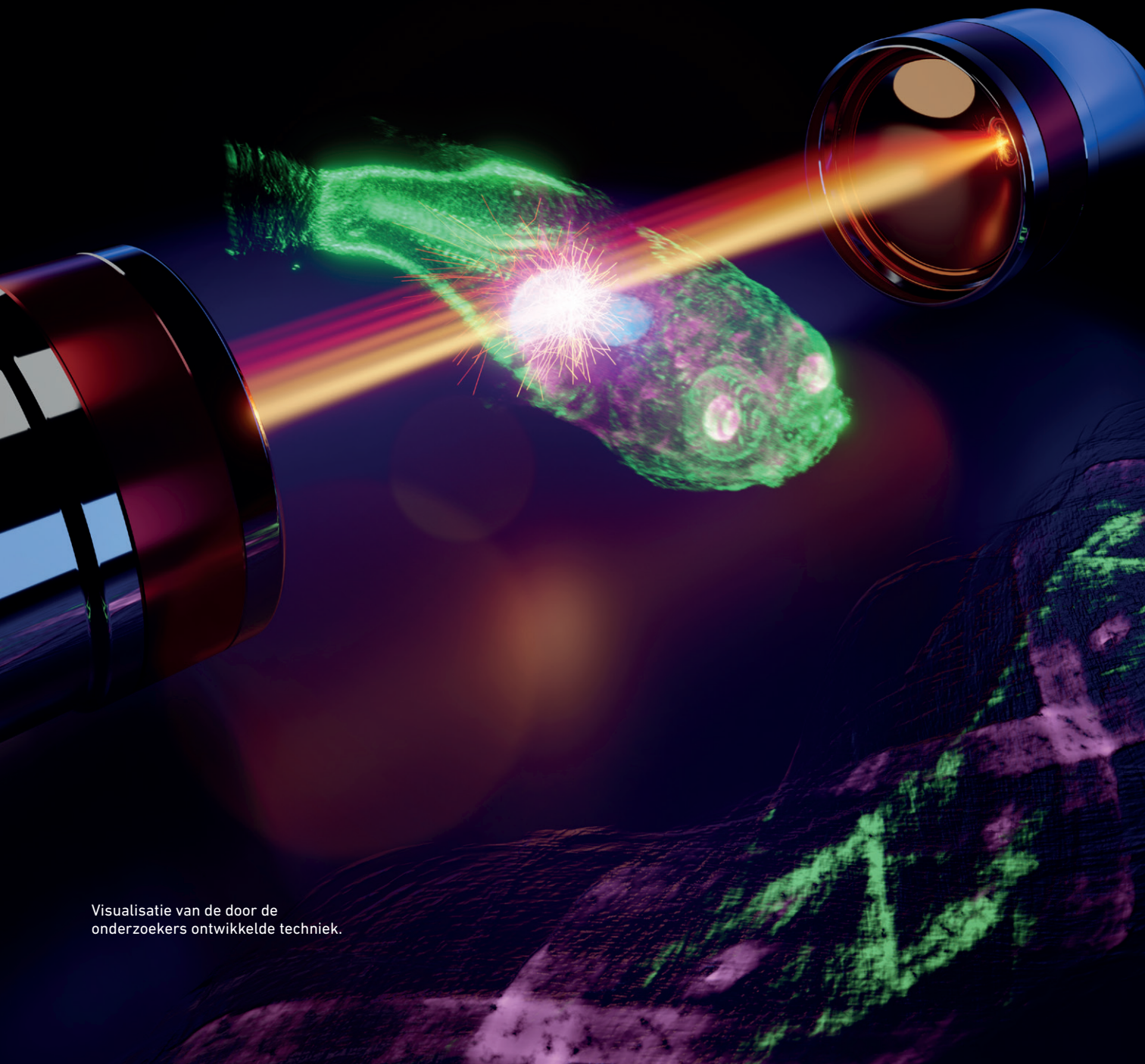
nale ruimtestation ISS. Sepideh schopte het door passie en wilskracht tot astronoom. In dat Nederlandse natuurkundeboek inspireert zij nu zelf hopelijk weer andere kinderen. De boeiende documentaire over haar leven, *Sepideh, Reaching for the Stars*, is te vinden op internet.

Lees in dit nummer vooral ook het interview met NNV-bestuurslid Saskia Blom. Door middel van interviews inventariseert zij hoe inclusiviteit en diversiteit bevorderd kunnen worden binnen de Nederlandse natuurkundewereld. Op grond hiervan geeft ze advies over wat de NNV en individuele natuurkundigen kunnen doen. Je kunt bijvoorbeeld in een weekendschool kinderen uit achterstandsgebieden in aanraking laten komen met inspirerende rolmodellen en fascinerende natuurkunde. Bestaande initiatieven laten zien dat dit goed werkt. Op onderwijsgebied komt de NNV deze maand ook in actie tijdens de International Day of Women and Girls in Science, donderdag 11 februari. De vereniging koppelt op deze dag vrouwelijke natuurkundigen als online-gastdocent aan schoolklassen van verschillende niveaus. Een uitstekend initiatief, dat het traditionele eentonige beeld van wetenschappers flink zal bijkleuren.

CLAUD

Claud Biemans

ONDERZOEKERS KIJKEN DIEP IN WEEFSEL



Visualisatie van de door de
onderzoekers ontwikkelde techniek.

Een van de grootste uitdagingen in biomedische beeldvorming is om met hoge resolutie diep in weefsel te kijken. Hoge resolutie is met zichtbaar licht makkelijk te verkrijgen. Maar afbeelden diep in weefsel is moeilijk omdat licht er sterk verstrooid wordt. Dit geeft bij toenemende diepte een sterk verlies van contrast en resolutie. Optische coherentietomografie (OCT) is een microscopietechniek die in reflectie werkt en door middel van laagcoherente interferometrie dwarsdoorsneden van weefsels maakt (zie NTvN april 2015). Met 'reflectie'-OCT kun je ongeveer een millimeter diep kijken, maar voor grote dieptes nemen het contrast en de resolutie af. Daarnaast zijn reflectie-OCT-afbeeldingen geometrisch vervormd omdat ze afstand als optische padlengte bepalen en de brekingsindex niet uniform is. Zo rond 2011 begon het duidelijk te worden dat meten met OCT in transmissie voordelen heeft. In transmissie kan het ballistische licht – het niet verstrooide licht dat het kortste pad aflegt – worden gescheiden van het verstrooide licht – licht dat een langer pad aflegt. In tegenstelling tot reflectie-OCT, is in transmissie het ballistische licht niet verstoord door verstrooiing en kan daarom gebruikt worden voor het kwantitatief bepalen van de brekingsindex (uit de padlengte) en de optische verzwakingscoëfficiënt (uit de amplitude). In reflectie zijn deze moeilijk te bepalen omdat er dan geen onderscheid kan worden gemaakt tussen fysische lengte/brekingsindex en enkelvoudig/meervoudig verstrooid licht. Daarnaast is in transmissie de afbeeldingsdiepte ongeveer vier maal groter dan in reflectie. Een eerste factor twee wordt gewonnen door het niet meer heen- en teruggaan van het licht door hetzelfde weefsel. De andere factor twee wordt gewonnen door het feit dat in transmissie al het doorgelaten licht kan worden gemeten in plaats van het kleine deel van het verstrooide licht dat in reflectie wordt gedetecteerd (het deel dat op de lens valt). Een nadeel van meten in transmissie is dat gemeten signalen integralen over het object zijn en een directe

inversie, zoals in reflectie-OCT, niet mogelijk is. Met uit de röntgentomografie afkomstige algoritmen is het mogelijk om uit een groot aantal transmissiemetingen een kwantitatief en geometrisch correct 3D-beeld te reconstrueren.

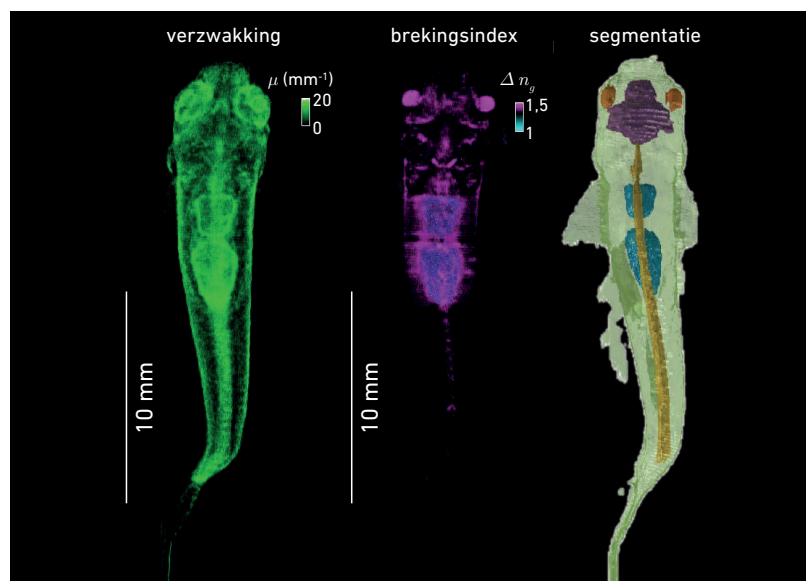
De onderzoekers hebben bovenstaande technieken toegepast op het het inwendige van beeldvormen van zebrafissen, zie figuur 1. Uit metingen van de amplitude en padlengte van het ballistische licht is een 3D-beeld van zowel de optische verzwakking (links) als de brekingsindex (midden) gemaakt. Verschillende structuren in de zebrafis zijn duidelijk zichtbaar. Door digitale beeldverwerking kunnen uit deze beelden de zebrafisorganen in segmenten worden weergegeven (rechts). Groot voordeel in deze afbeeldingen is dat de ruimtelijke resolutie niet aangetast wordt door verstrooiing. Ook is geen sprake van geometrische vervorming omdat in tomografie het beeld wordt opgebouwd uit een aantal metingen onder geometrisch welbepaalde hoeken. Verder blijkt dat de afbeeldingsdiepte van vier millimeter in weefsel de fundamentele signaal-ruisverhoudingslimiet van het afbeeldingssysteem heel dicht benadert. In deze limiet is het

aantal ballistische fotonen maar een fractie 10^{-12} van het aantal inkomende fotonen (de rest is verstrooid of geabsorbeerd). Het is moeilijk verder voorbij deze grens te komen omdat het ballistische signaal exponentieel met de diepte afneemt.

Het op deze manier meten in weefsel zonder gebruik te maken van chemische stoffen die het weefsel transparant maken (opheldering) is belangrijk voor het afbeelden van zebrafissen en weefselbiopten. Zebrafissen zijn belangrijke proefdieren voor het (pre-klinisch) testen op toxiciteit en de effectiviteit van medicijnen. Met deze techniek kunnen 3D-afbeeldingen van niet opgehelderde zebrafissen gemaakt worden wat de diagnostiek kan verbeteren en de hoeveelheid benodigde proefdieren kan verminderen. Een andere toepassing is om weefselbiopten, zoals gebruikt voor kankerdiagnostiek, integraal en zonder gebruik van opheldering af te beelden. Artsen kunnen hiermee mogelijk sneller een betere diagnose stellen.

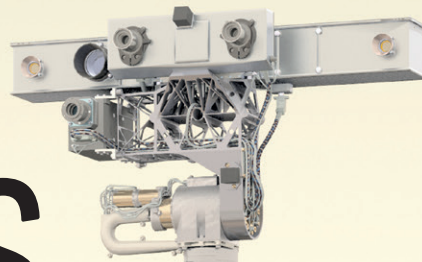
REFERENTIE

- 1 J. van der Horst, A.K. Trull en J. Kalkman, Deep-tissue label-free quantitative optical tomography, *Optica* 7, 1682 (2020).



Figuur 1. 3D-afbeelding van de verzwakking (links), brekingsindex (midden) en organen (rechts) van de zebrafis.

MARS- MISSIES



ESA's ExoMars rover (op de voorgrond)
en het *stationary surface science platform*
van Rusland (op de achtergrond).

Ongeveer om de twee jaar liggen de aarde en Mars op een gunstige positie in hun banen om een reis vanaf de aarde naar Mars te maken. 2020 was zo'n gunstig jaar. Er stonden meer missies dan ooit op de planning: de Mars 2020-rover van NASA, de Tianenwen-1-missie van CNSA uit China, de Hope Mars Mission van UAESA uit de Verenigde Arabische Emiraten (VAE) én ExoMars 2020 van gezamenlijk ESA en de Russische ruimtevaartorganisatie Roscosmos. Nou ja, de laatstgenoemde missie heet nu ExoMars 2022; de lancering was voor de zekerheid uitgesteld. Deze maand komen de eerste drie missies aan bij Mars om hun onderzoek te verrichten en net zoals de vele voorgaande Marsmissies hebben zij weer een verbluffende verzameling aan nieuwe apparatuur.

Rosalind Franklin – vernoemd naar de vroeg overleden, iconische DNA-onderzoekster – zal de eerste Marsrover van ESA worden. Eerder vertrokken de satellieten Mars Express Orbiter en ExoMars Trace Gas Orbiter. Vanuit hun baan rondom Mars maken zij nu nog steeds metingen van de oppervlakte en de atmosfeer. Qua metingen vanaf het oppervlak hebben Europa en Rusland minder geluk; drie eerdere voertuigen zijn om verschillende redenen nooit in werking getreden. De Verenigde Staten presteren beter in Marsverkenning, aangezien alle succesvolle Marsrovers (Sojourner, Spirit, Opportunity en Curiosity) daar vandaan komen. Voor China zal Tianenwen-1 de eerste Marsmissie worden en voor de VAE is de ambitieuze Hope Mars Mission de eerste grote ruimtemissie.

Een scala aan nieuwe apparatuur

Zoals de meeste Marsmissies proberen ook deze rovers antwoord te geven op David Bowie's vraag "Is there life on Mars?". Mars is lang niet altijd zo 'dood' geweest als het er nu uitziet. De huidige ideeën zijn

dat er miljarden jaren geleden rivieren, meren en zeeën vol vloeibaar water op de oppervlakte van Mars waren. De vraag is of al dat water verdwenen is of dat er nog een deel ondergronds bewaard is gebleven. Rosalind Franklin en NASA's Perseverance-rover hebben instrumenten om dieper dan ooit tevoren onder de grond naar water te zoeken. Een grond-penetrerende radar en neutronspectrometer vormen een symbiose om gesteente tot dieptes van ongeveer drie meter te onderzoeken. De radar zendt signalen op bepaalde frequenties uit wat in het ondergrondse gesteente reflecties veroorzaakt. De spectrometer vuurt vervolgens neutronen op hoge snelheid af om te zien hoe deze terugkaatsen. Uit deze metingen wordt de dichtheid van het gesteente gehaald. Met een steenboor kan steen van enkele meters diepte vervolgens worden opgegraven en geanalyseerd. Dit ondergrondse gesteente heeft al miljarden jaren geen daglicht gezien, waardoor juist dit gesteente veel zal kunnen vertellen over de oeroude geschiedenis van Mars. NASA's missie bevat naast de rover ook een drone genaamd Ingenuity om geschikte boorlocaties te vinden. Het opgraven van diep gesteente en het gebruik van een Mars-drone vormen hiermee twee primeurs. China's rover focust zich meer op het gesteente en het verkrijgen van nauwkeurige kaarten van de landingslocatie. Hun missie is dan ook vooral als een voorbereiding op een latere sample return-missie, het terug naar aarde halen van Marsgesteente. Dit is nog nooit klaargespeeld en zou erg waardevol zijn voor het Marsonderzoek. Tot nu toe hebben onderzoekers alleen enkele meteorieten afkomstig van de oppervlakte van Mars kunnen bestuderen. Deze meteorieten zijn al miljoenen jaren verweerd door het weer en micro-organismen, waardoor dit meteorietgesteente minder informatief is dan gesteente dat nu op het Marsoppervlak ligt. De satelliet van de VAE ten slotte

is voornamelijk een demonstratiemissie, maar daarnaast ook een weersatelliet voor Mars. Mars heeft een erg grillig klimaat met woestijnstormen die de hele planeet wekenlang kunnen bedekken. Veel van deze weercyclussen worden nog niet begrepen en deze satelliet zal daar veel bij helpen.

De uitdaging van een zachte landing

Deze plannen vereisen een zachte landing, wat nog niet zo makkelijk is. Tijdens de duik in de atmosfeer moet de landingsmodule met remraketten het geheel van een snelheid van 21.000 km/u naar 1700 km/u brengen, waarna de parachute voor de vertraging naar een sloom wandelgangetje zorgt. Omdat de druk van de atmosfeer van Mars slechts ongeveer 1% van die van de aarde is, vormt dit een geweldige uitdaging waar een parachute met een diameter van maar liefst 35 meter bij komt kijken. Voor de Rosalind Franklin-rover hebben de Nederlandse bedrijven TNO en Aerospace Propulsion Products (APP) gewerkt aan de mortieren die de parachute laten uitklappen. De ontwikkeling hiervan laat zowel gloednieuwe technieken als eenvoudige principes zien; zo is het te gebruiken buskruit gewoon in de winkel te koop en is de manier van afvuren afgeleid van het afvuren van vuurwerk. Aan de andere kant is de parachute groter dan elke andere parachute gebruikt in een Marsmissie. TNO en APP moesten daarom het mechanisme dat de parachute uitklapt helemaal vanaf het begin ontwikkelen.

Het duurt dus nog wel even voordat Rosalind Franklin wordt gelanceerd en op Mars landt. Tot die tijd zijn er nog genoeg andere Marsmissies om te volgen. Zo zullen we steeds meer te weten gaan komen over de planeet die ons altijd al geboeid heeft. Mars, de rode planeet met prachtige landschappen, gigantische vulkanen en heel misschien ook leven.



NNV-Diversiteitsprijs 2020

NNV-DIVERSITEITSPRIJS 2020 NAAR FACULTEIT TECHNISCHE NATUURKUNDE TU/E

De NNV heeft in 2017 een prijs in het leven geroepen die wordt toegekend aan de natuurkunde-instelling die het succesvolst is in het in de praktijk brengen van een open diversiteitsbeleid. De prijs vormt een eerbetoon en biedt een inspirerend voorbeeld voor andere instituten en/of afdelingen. De NNV-Diversiteitsprijs 2020 is gewonnen door de faculteit Technische Natuurkunde van de Technische Universiteit Eindhoven. De online prijsuitreiking vond plaats op 18 januari tijdens het alternatief voor het werkgroepeldersdiner op Physics@Veldhoven. De NNV-Diversiteitsprijs wordt eens per twee jaar uitgereikt.

Bij de eerste selectie werd vooral gelet op beleid van het natuurkunde-instituut of de faculteit, dat uitstijgt boven het beleid dat door de instelling als geheel is geformuleerd. Ook werd gelet op originele initiatieven en op concrete bewijzen van succes van het beleid. De top drie bestond, naast de uiteindelijke winnaar, uit het NWO-instituut AMOLF en het Anton Pannekoek Instituut voor Astronomie van de Universiteit van Amsterdam.

Een delegatie van de jury ging virtueel bij deze instellingen op bezoek en sprak met het management en een delegatie van werknemers en studenten. De jury kon uitgebreide en zeer openhartige gesprekken voeren, waaruit vooral het beeld blijft hangen dat er in recente jaren veel ten goede is veranderd in de



drie instellingen.

Het API heeft in relatief korte tijd het percentage vrouwen onder de stafleden van praktisch 0% op 35% gebracht. Het API loopt binnen de gemeenschap van sterrenkundigen in Nederland voorop in diversiteitsbeleid.

AMOLF heeft in een Gender Equality Plan de doelen en maatregelen vastgelegd en voert die nu uit. Met name de afdeling van Albert Polman is al zeer succesvol in het aantrekken van vrouwelijke groepsleiders. Op grond van de beschrijving van het beleid en de recente resultaten die in Eindhoven zijn behaald, en op grond van de gesprekken met een ruime en diverse delegatie van de staf, kwam de jury unaniem tot de conclusie dat de faculteit Technische Natuurkunde van de TU/e dit jaar de prijs verdient. De faculteit heeft een indrukwekkende cultuuromslag weten te bereiken in een relatief korte tijd. Het ingevoerde PI-systeem is daarbij instrumenteel en misschien zelfs cruciaal gebleken voor het bereiken van meer diversiteit onder de stafleden, zowel in termen van nationaliteit als gender. Inclusiviteit van de faculteit wordt bevorderd door het on-boarding programma dat nu wordt uitgerold. De omslag naar een meer diverse en inclusieve werkomgeving lijkt

breed te worden gedragen door de staf. Het valt bijzonder op dat er veel persoonlijke aandacht uitgaat van de leidinggevenden naar individuele behoeften van recent aangestelde stafleden.

Het is opmerkelijk hoe belangrijk de rol van de studievereniging J.D. van der Waals is. Het is bemoedigend dat de volgende generatie zo gedreven is en ook zo kundig blijkt om een cultuuromslag te bevorderen. Het is eveneens bemoedigend dat de studenten hierin serieus genomen worden door de faculteitsleiding, die hun activiteiten faciliteert. De leiding, staf en studenten zijn trots op het reeds bereikte resultaat, maar erkennen dat het belangrijk is om alert te blijven. Naar de indruk van de jury lijkt de cultuuromslag voldoende gedragen om het doel van ten minste 35% vrouwen onder de staf te bereiken en te behouden. De NNV feliciteert de winnaar van harte en prijst zich gelukkig met de inzet en kundigheid van de jury in dit proces. De jury bestond uit: Freya Blekman (hoogleraar hoge-energiefysica aan de Vrije Universiteit Brussel), Job de Kleuver (programamanager internationale zaken en grote faciliteiten, NWO-I), Angela Maas (hoogleraar cardiologie aan de RU), Vinod Subramaniam (hoogleraar biofysica en rector magnificus aan de VU), Els de Wolf (gepensioneerd deeltjesfysicus, Nikhef en UvA) en voorzitter Jan van Ruitenbeek (hoogleraar nanofysica UL).

REACTIE

Leerlingen activeren

In het artikel *Leerlingen activeren met spelelementen* in het decembernummer van het NTvN worden enkele voorbeelden van opdrachten weergegeven die voor mij aanleiding zijn voor enkele opmerkingen.

In figuur 1 wordt een staaldraad belast en volgens het antwoord is deze daarna 23,4% langer. Zo'n antwoord moet onmiddellijk alarmbellen doen rinkelen want een dergelijke rek is zonder breuk natuurlijk onmogelijk. De berekening is dan ook foutief waardoor het antwoord een factor duizend fout is. Ik drukte studenten altijd op het hart om direct na te gaan of het antwoord op zijn minst plausibel is en of de orde van grootte klopt. In dit geval: stel je die rek voor, dan begrijp je onmiddellijk dat dit niet in het elastische gebied ligt en dat de draad gebroken zou zijn. In de opgave wordt gesproken van het 'oppervlak' van de draad, wat 'doorsnede' moet zijn (niet te verwarren met diameter).

Dan opgave 17 in figuur 2, waar overigens in de tekst niet naar verwezen wordt. Het is mij niet duidelijk wat de functie van de voltmeter is. Voorts is de opgave onoplosbaar, tenzij wordt aangenomen dat R_2 dezelfde is als in opgave 7.

Hugo van Dam

REACTIE

Leerlingen activeren

Er zijn inderdaad wat storende foutjes in ons artikel geslopen: de elasticiteitsmodulus van staal is in MPa in plaats van GPa afgelezen en de figuur is verkeerd overgenomen (er had 15 ohm moeten staan in plaats van R_2). Het rare resultaat had ons op moeten vallen, dank voor de correctie.

Richard Switser en Peter Dekkers

NIEUWS

Toekenningen NWA

Onlangs zijn de 21 projecten bekendgemaakt die financiering krijgen in de tweede ronde binnen het programma van de Nationale Wetenschapsagenda (NWA): *Onderzoek op Routes door Consortia*. 21 consortia gaan in teamverband aan de slag met interdisciplinair onderzoek waarmee wetenschappelijke en maatschappelijke doorbraken binnen bereik komen. In de projecten werken de gehele kennisketen en maatschappelijke organisaties, zowel publieke als private partijen, nauw samen. In totaal is er 93 miljoen euro beschikbaar.

In opdracht van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap financiert NWO sinds 2018 onderzoek in het kader van de NWA. Het doel van het onderzoek in de NWA is een positieve, structurele bijdrage leveren aan de kennismaatschappij van morgen, door vandaag bruggen te slaan en met elkaar wetenschappelijke en maatschappelijke uitdagingen aan te gaan.

Van de 21 projecten die nu financiering krijgen, zijn er drie op het gebied van de natuur- en sterrenkunde. Bijzonder is dat de NNV een van de betrokken partijen is in het consortium *Een seconde na de big bang*. De NNV zal meehelpen bij het opzetten van een webportal en het maken van een documentaire over de totstandkoming van het project. Bij het project *Het Nederlandse Zwarte Gaten Consortium* is Natuurkunde.nl betrokken en zal als brug dienen richting middelbare scholen door educatief materiaal dat voortkomt uit het project op de website aan te bieden.

Eén seconde na de big bang

Elke seconde wordt de aarde gebombardeerd door enorme hoeveelheden neutrino's uit het heelal. Deze neutrino's zijn ontstaan in de oersoep, één seconde na de Big Bang, maar nog nooit waargenomen. Met dit onderzoek ontwikkelt het consortium de techniek om 'relic neutrino's' te ontdekken door

het bestuderen van zwaar-waterstof tritium.

Penvoerder: Auke Pieter Colijn (UvA)

Toegekend bedrag: 1,1 miljoen euro
Consortium: UvA, Nikhef, RU, HHS, TNO, Princeton Physics Department, Laboratorio Nazionale di Gran Sasso, NNV, Ampulz, Karlsruhe Institute of Technology.

Quantum Inspire – de Nederlandse quantumcomputer in de 'cloud'

De quantumcomputer komt eraan, maar is de maatschappij er wel klaar voor? Quantum Inspire combineert de nieuwste quantumtechniek tot een eerste prototype quantumcomputer en maakt deze 24/7 online beschikbaar voor iedereen, met het oog op kennismaking, onderwijs, ontwikkeling en nieuwe toepassingen gericht op grote maatschappelijke uitdagingen.

Penvoerder: Lieven Vandersypen (TU Delft)

Toegekend bedrag: 4,5 miljoen euro
Consortium: TU Delft, UL, RU, HAS Hogeschool, QuTech, TNO, Waag, Ministerie van Defensie, Malmberg, Zurich Instruments, Onderwijsnetwerk Zuid-Holland, ICLON.

Het Nederlandse

Zwarte Gaten Consortium

Dit consortium gaat interdisciplinair onderzoek doen naar zwarte gaten, van het ontwikkelen van telescopen en het geologische onderzoek voor de mogelijke komst van de Einstein Telescoop, tot pure sterrenkundige en theoretische vraagstukken. Via educatie en outreach proberen de onderzoekers hierbij een groot deel van de samenleving te betrekken.

Penvoerder: Stefan Vandoren (UU)
Toegekend bedrag: 4,9 miljoen euro
Consortium: UU, RU, Nikhef, UvA, UT, UM, KNMI, TU Delft, UL, HvA, TNO, HU, Rijksmuseum Boerhaave, Museumplein Limburg, Provincie Limburg, Innoseis, Shell, Las Cumbres Observatory, The Black Hole Initiative, Natuurkunde.nl.

Zie voor meer informatie:
www.nwo.nl/nieuws.

IN MEMORIAM

Martinus Veltman

(1931 – 2021)

Op 4 januari 2021 overleed op 89-jarige leeftijd Nobelprijswinnaar Martinus Veltman. Hij was een kritische natuurkundige, een markante persoonlijkheid en erelid van de NNV.

Natuurkundigen houden over het algemeen niet van onzin of grootspraak en Martinus – Tini voor intimi – spande daarin de kroon. Zijn hele werkzame leven hield hij zijn geliefde natuurkunde, of de instituten waaraan hij verbonden was, als een soort geweten, goed in de gaten. Ontdekkingen en vakgebieden binnen de natuurkunde moesten van hem wel genoeg experimentele bewijskracht hebben, anders had hij er weinig mee. Niets kon volgens hem tippen aan hoe het er in zijn geliefde hoge-energiefysica aan toe ging. Je ontdekt nieuwe dingen door wiskundige vergelijkingen neer te schrijven en door heel veel experimenten te doen.

Veltman was een natuurkundige in hart en nieren en vond niets spannender dan het doorgronden van de natuur. Hij deed dit door keihard te werken, maar ook door een ijzeren wil te tonen en door regelmatig tegen de stroom in te zwemen. Geboren in 1931, ging hij wis- en natuurkunde studeren aan de Universiteit Utrecht. Na het vervullen van zijn dienstplicht ging hij in 1961 naar CERN en schreef onder andere het computerprogramma SchoonSchip, dat symbolische manipulatie kon doen voor berekeningen binnen de hoge-energiefysica. Programma's als Maple en Mathematica zijn uiteindelijk hierop gebaseerd.

Daarna werd hij hoogleraar aan de Universiteit Utrecht waar hij uiteindelijk

samen met zijn promovendus Gerard 't Hooft het werk zou doen waarvoor ze beiden in 1999 de Nobelprijs voor de Natuurkunde kregen. In de jaren zestig zijn de zwakke en elektromagnetische interacties verenigd door Glashow, Salam en Weinberg. Het probleem van deze theorie was dat het een niet normaliseerbare theorie leek te zijn. Dit leverde allerlei oneindigheden op die het onmogelijk maakten om er echt iets mee te berekenen. Veltman en 't Hooft lieten deze oneindigheden verdwijnen en konden voorspellingen doen aan deeltjes die daarna experimenteel bevestigd werden.

In 1981 zette hij zijn werk voort als hoogleraar aan de Universiteit van Michigan. Na zijn pensioen in 1996 keerde hij terug naar Nederland, waar hij geregeld lezingen en college's gaf en een populair-wetenschappelijk boek schreef over zijn vakgebied met als titel *Feiten en mysteries uit de deeltjesfysica* (Veen, 2004). De Universiteit van Amsterdam verleende hem in 2001 het ereprofessoraat.

We zijn er trots op dat hij al op zijn vijfentwintigste lid werd van de NNV en dat bleef voor de rest van zijn leven. In 2000 werd hij benoemd tot erelid van de NNV. In zijn 64 jaar durende lidmaatschap heeft hij in 1979 de voorjaarsvergadering van de NNV (het vroegere FYSICA) toegesproken. Zijn Physica-lezing gaf hij in 1990 de hem typerende titel *Quo Vadis Hoge Energiefysica*.

Martinus Veltman was een briljante, gelauwerde en kleurrijke Nederlandse natuurkundige. We zullen hem missen.

Diederik Jekel, voorzitter NNV





INTERVIEW MET CHRISTA HOOIJER

“Het is geweldig dat de NNV er is”

Kunt u iets vertellen over uw achtergrond?

“Ik heb natuurkunde gestudeerd in Twente en ben in 1996 naar Amsterdam gegaan om daar te promoveren. 3,5 jaar na het begin van mijn promotie kwam er bij FOM een functie voorbij als programmacoördinator en daar heb ik op gereageerd. Dat heb ik vrij lang gedaan, waarbij ik veel zaken in mijn pakket heb gehad: fysica van leven, theoretische hoge-energiefysica, het FOM-vrouwenprogramma, AMOLF en Nikhef. Zo heb ik bijvoorbeeld als secretaris meegewerkt aan het rapport van de Commissie Dijkgraaf Fysica en Chemie 2025 en was ik betrokken bij de organisatie van FOM Veldhoven. In 2013 ben ik naar Den Haag gegaan waar ik plaatsvervangend directeur Natuurkunde werd bij NWO. Een jaar later werd aangekondigd dat NWO ging reorganiseren en dat FOM zou worden opgeheven. Ik ben toen directeur FOM geworden omdat ik ervaring had aan beide kanten. Na de overgang ben ik directeur geworden van de institutenorganisatie bij NWO. Inmiddels ben ik ruim een jaar wetenschappelijk directeur bij de TNO-Unit Industry.”

Wanneer bent u lid geworden van de NNV?

“Als eerstejaars en ik ben altijd lid gebleven.”

Wat vindt u van de NNV?

“Het is geweldig dat de NNV er is. Voorheen waren FOM en de NNV complementair. Onderwijs was bijvoorbeeld iets waar FOM zich totaal niet mee bezighield en daar maakt de NNV zich erg sterk voor. Net als de rol van de fysicus in de samenleving. Het is goed dat de NNV het FOM-gat begint op te vullen.”

Waarom wilt u voorzitter worden?

“In mijn werk bij TNO zie ik hoe ontzettend veel de natuurkunde kan bijdragen aan oplossingen voor problemen uit de maatschappij. Nu FOM er niet meer is, denk ik dat er een kans ligt voor de NNV om iets terug te brengen van de saamhorigheid en wederzijdse herkenning van de fysicus. Niet omdat natuurkunde de koningin der disciplines is, maar omdat je als natuurkundige een unieke set van vaardigheden hebt waarmee je in multidisciplinaire teams enorm kunt bijdragen aan oplossingen. Ook is het belangrijk dat de discipline zelf goed onderhouden wordt.

We moeten ons ook blijven verbazen over onderzoek waar niet direct een toepassing voor is, onderzoek dat gaat over willen weten hoe iets zit. Meestal zijn dat dingen die toch weer iets opleveren, ook al is het honderd jaar later. De NNV kan iedereen verbinden, van de beginnende fysicus tot de ervaren natuurkundige en de gepensioneerde, en kan een stem zijn voor de fysica in de maatschappij en in de politiek.”

Wat zijn uw plannen als u wordt verkozen tot voorzitter?

“Het voelt voor mij een beetje als de terugkeer naar de fysische gemeenschap in Nederland. Ik zou graag willen kijken hoe het de afgelopen tijd is gegaan om te zien waar we nog iets kunnen versterken. Het zou kunnen dat we iets meer gaan etaleren wat de rol is van de fysica of het op andere manieren gaan etaleren, want ik denk dat Diederik Jekel daar al veel mee bezig is geweest. Sommige NNV-secties zijn heel actief, andere wat minder. We kunnen kijken wat we nog meer kunnen doen. Ik heb niet een grote politieke agenda, maar ik zie vanuit TNO hoe ongelooflijk krachtig de fysica kan zijn en wat voor fantastische dingen je daarmee kunt doen. Het is belangrijk dat de NNV zo sterk mogelijk is, zodat de fysische gemeenschap ondersteund wordt, gedreven door de intrinsieke belangstelling voor het vak.”

Waarom zouden mensen op u moeten stemmen?

“Kijkend naar de andere twee kandidaten, denk ik dat de NNV sowieso een uitstekende voorzitter krijgt. Wat ik meebreng is de wetenschapspolitieke ervaring, met een hand aan de wetenschap en een hand aan het bedrijfsleven via TNO. Ik heb een mooie tussenweg tussen de beroepspraktijk van de fysicus die na studie of promotie de praktijk in is gegaan en de academische fysica die ook heel groot is in de maatschappij. Verder breng ik enthousiasme mee en hopelijk een bak plezier in natuurkunde.”

Heeft u nog een boodschap voor de leden?

“Dat wat ons bindt, is de fascinatie en de liefde voor de fysica. Ik hoop dat via de NNV breder te kunnen delen maar ook te zorgen dat er vervolgens iets mee gedaan wordt. Dat fysica bijdraagt aan oplossingen voor problemen en vragen die onze maatschappij heeft.”



INTERVIEW MET PETRA RUDOLF

“We moeten een nieuw evenwicht zien te vinden”

Kunt u iets vertellen over uw achtergrond?

“Ik ben in Duitsland geboren. Op mijn zeventiende vertrok ik naar Italië waar ik mijn middelbare school heb afgemaakt en natuurkunde ben gaan studeren aan de La Sapienza Universiteit in Rome. Na mijn studie heb ik in Trieste gewerkt en in de Verenigde Staten bij Bell Labs. Mijn academische carrière begon vervolgens in België en zeventien jaar geleden ben ik naar Groningen gekomen, waar ik nu hoogleraar Experimentele Vastestoffysica ben. In België was ik trouwens de eerste vrouwelijke voorzitter van de Belgische natuurkundevereniging. Momenteel ben ik voorzitter van de European Physical Society, maar mijn termijn loopt in april af.”

Wanneer bent u lid geworden van de NNV?

“Vrijwel meteen nadat ik in Nederland ging werken, dus in 2003 of 2004. Ik was zeer vereerd dat het NNV-bestuur mij in 2006 tot lid van verdienste heeft benoemd.”

Wat vindt u van de NNV?

“Toen FOM nog bestond, deed FOM dingen waarvan ik in andere landen gewend was dat de natuurkundevereniging daar verantwoordelijk voor was – dat vond ik toen een beetje raar. Dat is nu aan het veranderen omdat de fysica binnen NWO een andere rol heeft. De Raad voor de Natuurkunde heeft enkele taken van FOM overgenomen, maar je ziet ook de rol van de NNV veranderen. We moeten een nieuw evenwicht zien te vinden met elkaar. Dat loopt goed, maar het is ook spannend.”

Waarom wilt u voorzitter worden en wat zijn uw plannen als u wordt verkozen tot voorzitter?

“Ik heb altijd ideeën over hoe dingen beter kunnen en over wat er nog meer zou kunnen. Ik was ook voorzitter van de Natuurkunde Olympiade en toen viel me op dat de deelnemers, middelbare scholieren die geïnteresseerd zijn in fysica, niet evenwichtig verdeeld zijn over het land. We zouden meer kunnen doen aan outreach naar scholieren in kansarme wijken om te laten zien wat een natuurkundige doet, want dat is lang niet overal bekend. Daarmee kunnen we de instroom verhogen, want er zijn nog altijd te weinig natuurkundestudenten en al helemaal te weinig meisjes. Bij de Natuurkunde Olympiade hebben we het percentage meisjes in de loop van de tijd omhoog gebracht naar 38%,

maar dat zie je helaas nog niet terug in de cijfers bij de studenten. Dus daar moeten we echt nog aan werken.

Waar we ons ook voor moeten inzetten, is het oplossen van het lerarentekort. De gemiddelde leeftijd van natuurkundeleraars is vrij hoog en op veel plekken wordt natuurkunde gegeven door docenten die dat niet als hun hoofdinteresse hebben.

Wat ik ook signaleer is dat veel studenten niet weten wat voor banen er zijn voor fysici met een bachelordiploma.

Wat ze kunnen doen na het behalen van een masterdiploma of na een promotie, dat weten studenten en promovendi vaak wel, maar heel weinig mensen gaan na de bachelor werk zoeken. Wij zouden ze beter moeten voorlichten over wat je met enkel een bachelordiploma kunt doen. Studieverenigingen organiseren wel excursies naar bedrijven, maar de opleidingen zelf doen nog weinig aan voorlichting op dit vlak. De NNV zou dit kunnen faciliteren.

Verder is er denk ik nog te weinig samenwerking tussen hogescholen en universiteiten en NWO-instituten op het gebied van onderzoek. Ik denk dat de NNV daar ook een rol kan spelen, al is het maar door tijdens FYSICA voorbeelden te laten zien van wat zo'n samenwerking kan opleveren.

Natuurlijk kun je niet alles doen in twee jaar tijd, maar we kunnen zeker wat steentjes aan het rollen krijgen en deze problematiek aankaarten en aanpakken.”

Waarom zouden mensen op u moeten stemmen?

“Het is ook prima als ze op een van de andere kandidaten stemmen, want ik denk dat we alle drie mooie dingen in kunnen brengen. Ik heb me vooral laten overhalen om me kandidaat te stellen omdat ik denk dat het tijd is voor een vrouwelijke voorzitter.”

Heeft u nog een boodschap voor de leden?

“Ik denk dat het voor alle leden geldt dat we ons in het algemeen meer maatschappelijk moeten inzetten en zichtbaarder moeten zijn. Tot nu toe hebben de meesten van ons zich vooral geconcentreerd op onze baan op de universiteit of in het bedrijfsleven, maar we hebben een grotere rol. Natuurkunde is belangrijk voor de economische groei van Nederland en dat moeten wij ook uitdragen. Verder moeten wij toekomstige leraren aantrekken, anders hebben we in de toekomst echt een probleem binnen de natuurkunde.”



DE NATUURKUNDIGE

INTERVIEW SYLVIA BARLAG

“Een visie vorm je niet alleen, maar samen”

Kunt u iets vertellen over uw achtergrond?

“Ik ben in de deeltjesfysica gepromoveerd en werkte daarna voor CERN, het Max Planck Instituut en het Centre national de la recherche scientifique, de Franse NWO. In 1989 keerde ik terug naar Nederland en kwam ik bij het KNMI in dienst. Eerst als klimaatonderzoeker, later heb ik me doorontwikkeld tot leidinggevende en heb ik een nieuwe groep opgezet op het gebied van satellietwaarnemingen. In 2006 ging ik naar Thales. Dat waren vier grote stappen in één: van overheid naar bedrijfsleven, van een open wetenschappelijke gemeenschap naar een gesloten technisch bedrijf, en inhoudelijk en sociaal veranderde veel (een Amsterdamse die in Oost-Nederland kwam wonen).

Ik heb op internationaal niveau atletiek bedreven en heb in verschillende commissies gezeten, in de wetenschap en in de sport. Eerst bij de Nederlandse Sport Federatie en de Atletiekunie, later bij de internationale bonden European Athletics en World Athletics.”

Wanneer bent u lid geworden van de NNV?

“Dat is een heel leuke vraag, want toen ik voor het eerst benaderd werd, dacht ik: ‘Ik ben helemaal geen lid van de NNV.’ Daar is ook wel een logische verklaring voor, want mijn man is al sinds 1965 lid. Toen ik student was, kon ik het lidmaatschap helemaal niet betalen. Ik heb nooit iets gemist, behalve de vergaderingen. Het blad kwam altijd binnen. Je zou kunnen zeggen dat we als gezin al heel lang lid zijn. Op het KNMI zat ik bij toenmalig NTvN-redactielid Peter Siegmund op de kamer, dus zo kreeg ik wel een en ander mee. Ondertussen ben ik lid geworden.”

Wat vindt u van de NNV?

“Omdat ik niet deel uitmaakte van een sectie en niet aan de vergaderingen heb meegedaan, vind ik het moeilijk om dat te bepalen. Ik wil graag eerst meerdere dingen te weten komen.

Ik ben me wel gaan verdiepen in de vereniging. Wat ik denk te herkennen is dat we als natuurkundigen onderling heel goed weten wat we willen, maar dat we moeite hebben met de link leggen naar de samenleving, maar ik zou eerst moeten toetsen of dat inderdaad zo is. Als je daar een draai in kunt maken, dan denk ik dat je beter de stem van de natuurkunde naar de samenleving kunt zijn.”

Waarom wilt u voorzitter worden?

“Dat ik gevraagd werd, was voor mij een hele verrassing. In de kiescommissie zitten verschillende mensen met wie ik samengewerkt heb en ik begreep dat ik al langere tijd op de kieslijst stond. Ik ben bij veel dingen betrokken en dit lijkt me leuk. Ik heb tijd en ben nergens meer aan gebonden.”

Wat zijn uw plannen als u wordt verkozen tot voorzitter?

“Mijn insteek is luisteren, in eerste instantie naar leden en bestuursleden, maar ook naar de samenleving. Een visie vorm je niet alleen, maar samen.

Ik vind een bredere visie op communicatie en publiciteit belangrijk. Ik wil dat de vereniging breder de stem van de natuurkundigen laat horen. Ik vind het tijdschrift hartstikke leuk en goed, maar sociale media zijn ook van deze tijd. Inclusiviteit en diversiteit gaan mij aan het hart, net als behoorlijk bestuur in het algemeen.

Verder heb ik veel vragen en ideeën waarmee ik mij bezig wil houden. Wat wil je zijn als vereniging, wie wil je verenigen, wat zijn de doelgroepen en hoe creëer je binding? We moeten het hebben over (financieel) beleid en beleidsontwikkeling. Belangrijk is ook samenwerking met bedrijven en misschien kunnen we iets doen met burgerinitiatieven of musea. Natuurkundeonderwijs vind ik belangrijk. Ik had een fantastische leraar die mij wist te overtuigen dat ik natuurkunde moest gaan studeren. Met onderwijs begint alles.”

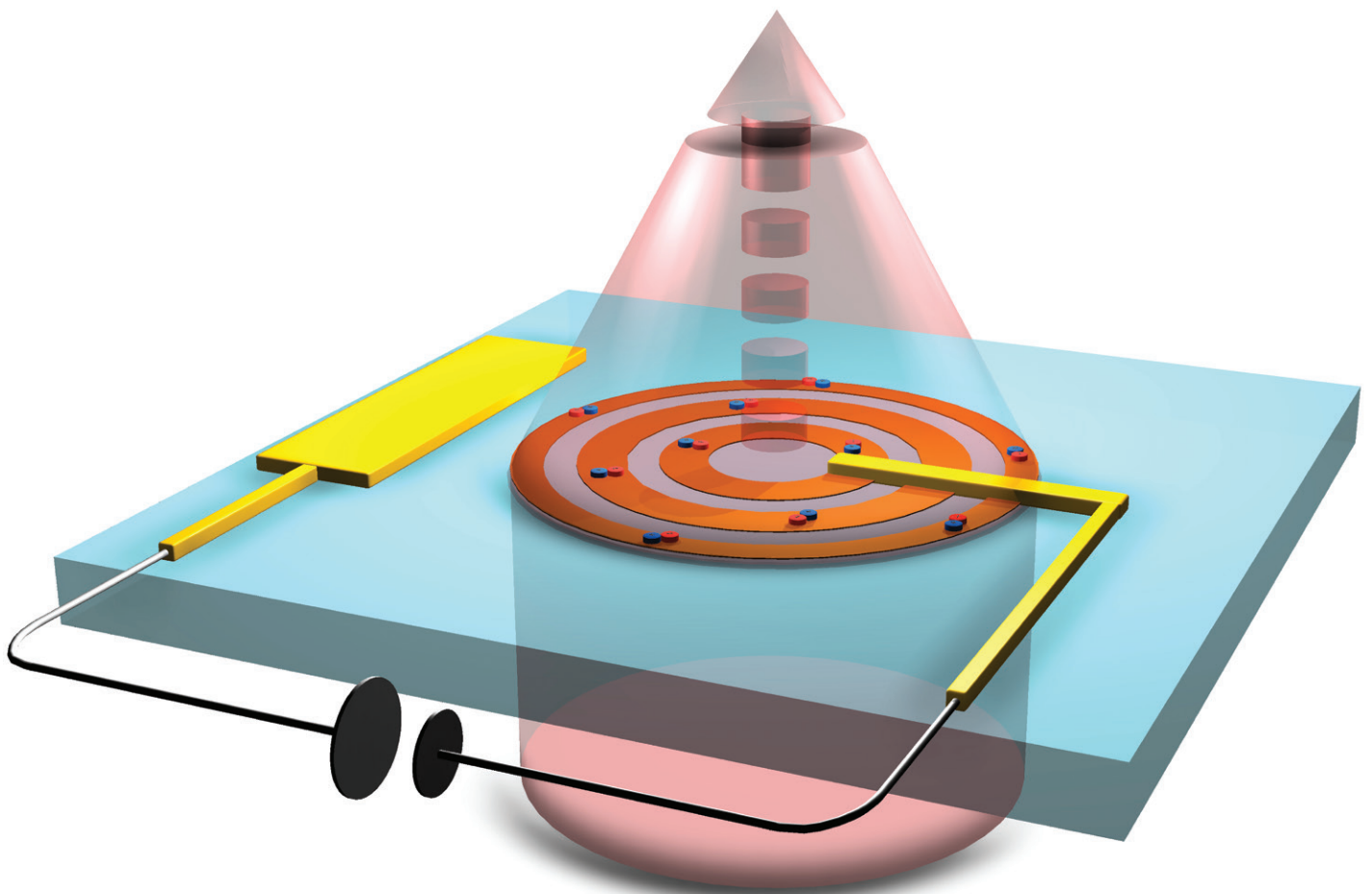
Waarom zouden mensen op u moeten stemmen?

“Ik ben positief en optimistisch ingesteld: mijn glas is altijd halfvol, als het niet al helemaal vol is. Ik wil vernieuwing stimuleren en helpen vormgeven en ben niet iemand die op de zaak gaat passen. Ik ben echt iemand van ‘samen’ en neem anderen op sleeptouw en stimuleer anderen om dingen te doen. Ik heb een heel breed profiel en veel interesses, leg makkelijk verbanden en kan daarbij de juiste personen bij elkaar vinden. Dan kun je snel zaken voor elkaar krijgen. Dat lijkt me een belangrijke eigenschap in deze context.”

Heeft u nog een boodschap voor de leden?

“Stel jezelf open op naar de samenleving en probeer mee te denken in de huidige discussie over de waarde van wetenschap.”

Een nanolens met een aan-uitschakelaar



Klassieke lenzen en filters kunnen licht efficiënt manipuleren, maar zijn onwenselijk groot en zwaar. Oppervlaktecoatings bestaande uit nanodeeltjes, zogenoemde metaoppervlakken, bieden een alternatief: ze zijn flinterdun en kunnen conventionele lenzen door compacte tegenhangers vervangen. Dit is echter nog niet genoeg: nieuwe toepassingen vereisen optische elementen waarvan de functionaliteit tijdens het gebruik aangepast kan worden. Als antwoord hierop hebben we nu een atomair dunne lens met een aan-uitschakelaar weten te maken.

Het beïnvloeden en meten van de eigenschappen van licht wordt van oudsher gedaan met optische elementen zoals spiegels, lenzen en prisma's. Hoewel dergelijke elementen efficiënt zijn, zijn ze ook relatief groot en zwaar en dus vaak moeilijk te implementeren in toepassingen waarbij gewicht en afmeting een belangrijke rol spelen. Denk hierbij aan toepassingen in optische communicatie, mobiele telefoons en camera's. Nanotechnologie biedt hiervoor een oplossing: door structuren vorm te geven op een schaal kleiner dan de golflengte van licht, kan licht in plaats van met optische elementen ook gestuurd worden door middel van zogeheten resonante verstrooiing. Door nanodeeltjes van de juiste vorm op een slimme manier te combineren in een complex patroon kan bijvoorbeeld een oppervlaktecoating die slechts 100 nm dik is licht focuseren op dezelfde manier als een centimeter dikke lens (figuur 1). Uit dit inzicht is een volledig nieuw vakgebied ontstaan waarbinnen allerlei klassieke optische elementen vervangen worden door ultradunne nanocoatings met dezelfde functionaliteit: *flat optics* [1]. Zo bestaan er vandaag de dag lenzen, kleuren- en polarisatiefilters en zelfs kleurhologrammen, gemaakt uit slim ontworpen oppervlaktecoatings van metallische of diëlektrische nanodeeltjes: metaoppervlakken (*metasurfaces*). Ondanks de duizelingwekkende vooruitgang die de afgelopen tien jaar geboekt is binnen dit vakgebied rest er nog een grote uitdaging. Nieuwe toepassingen binnen bijvoorbeeld augmented en virtual reality, lidar (*light detection and ranging*) en geavanceerde beeldverwerking op hoge snelheden, stellen extreme eisen aan de toekomstige generatie optische elementen. Zelfs de huidige metaoppervlakte-lenzen en -filters kunnen hier niet meer aan voldoen. Voor deze toepassingen is het essentieel om meerdere functies te combineren in één enkele metaoppervlaktecoating. Of nog beter: om de optische functionaliteit tijdens het gebruik te kunnen aanpassen. Kunnen we bijvoorbeeld een kleurenfilter maken dat door middel van een elektrisch signaal op een andere kleur ingesteld kan worden? Of kun-

nen we een lens maken waarvan we de brandpuntafstand kunnen veranderen? Tot op heden zijn dergelijke *tunable flat optical elements* erg lastig te realiseren doordat de optische functionaliteit van metaoppervlakken ligt vastgelegd in de nanostructuur van het materiaal. Na het fabriceren van de nanostructuren is het niet meer mogelijk deze om te vormen. Ook verandert de brekingsindex van de meeste materialen slechts heel beperkt wanneer we een elektrisch veld aanbrengen of de ladingsdichtheid veranderen. Dit alles maakt het erg moeilijk om met een elektrisch signaal de optische eigenschappen van een dun optisch element te manipuleren. In een recent experiment hebben we samen met collega's op de universiteit van Stanford een nieuw soort metaoppervlakte-lens gemaakt [2]. Deze lens kan actief aan en uit worden geschakeld, en is slechts één atoomlaag dik: een dikte van 0,6 nanometer! De unieke functionaliteit vindt zijn oorsprong in de quantummechanische effecten die de materiaaleigenschappen van het tweedimensionale halfgeleidermateriaal wolframdisulfide (WS_2) bepalen. Door slim gebruik te maken van deze quantummechanische effecten, kunnen we een compleet nieuw soort atomaire dunne en actief verstelbare optische elementen realiseren.

Resonante nanodeeltjes als bouwstenen

Optische resonanties in nanodeeltjes vormen de bouwstenen van metaoppervlakken. Ze worden gebruikt om op nanoschaal de amplitude en fase van licht te beheersen. Een optische resonantie is een effect dat ervoor zorgt dat licht ingevangen en 'gerecycled' wordt binnen een nanostructuur. Hierdoor bouwt zich een hoge lichtintensiteit op binnen het deeltje, waarna het licht weer kan ontsnappen door middel van verstrooiing. Dit proces leidt tot een zeer sterke interactie tussen het licht en het nanodeeltje.

De exacte aard van de wisselwerking tussen licht en materie hangt af van de materiaalkeuze (figuur 2). Hierbij zijn twee belangrijkste resonante mechanismen te identificeren: plasmon- en Mie-resonanties. In metallische nano-

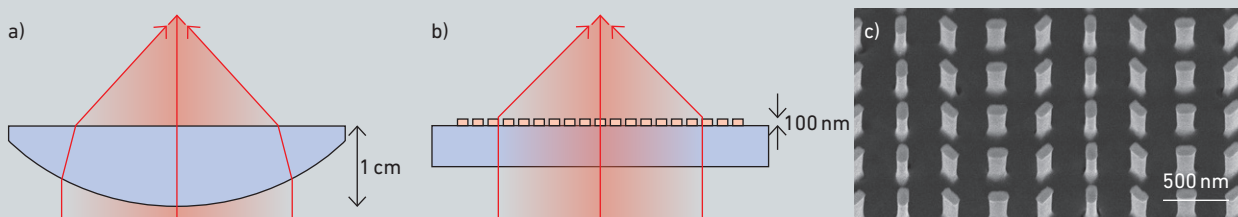


Jorik van de Groep is universitair docent aan het Institute of Physics van de UvA. Na zijn promotie bij AMOLF deed hij vier jaar postdoctoraal onderzoek aan de universiteit van Stanford in de Verenigde Staten. Sinds december 2019 doet hij met zijn eigen onderzoeksgroep experimenteel onderzoek naar tweedimensionale materialen voor nanofotonica. j.vandegroep@uva.nl

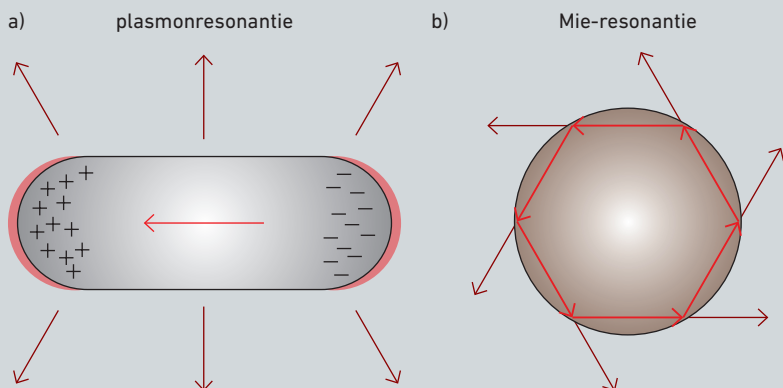


Marcel Vonk is mathematisch fysicus en outreachcoördinator aan het Institute of Physics van de UvA. Naast zijn werk als wetenschapper schrijft hij regelmatig populairwetenschappelijke boeken en is hij hoofdredacteur van de populairwetenschappelijke website quantumuniverse.nl.

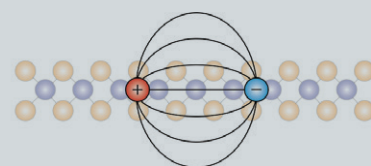
ONDERZOEK



Figuur 1. Een conventionele lens (a) wordt vervangen door een metaoppervlakte-lens bevestigd op een vlak stuk glas (b). c) Een voorbeeld van een metaoppervlakte-lens bestaande uit silicium pilaartjes.



Figuur 2. a) Plasmonresonantie in een metallisch nanodeeltje. Het elektrische veld van het inkomende licht laat de vrije elektronen trillen met dezelfde frequentie. Door de verplaatsing ontstaat een polarisatie in het nanodeeltje. Licht wordt geconcentreerd op het oppervlak van het metaaldeeltje en wordt uiteindelijk verstrooid (donkerrood). Rechts: Mie-resonantie in een diëlektrisch nanodeeltje. Licht wordt intern teruggeboogd door middel van interne reflecties, wat leidt tot een hoge intensiteit binnen in het nanodeeltje.



Figuur 3. Excitonen in een enkele laag WS₂ (wolfraamatomen in paars, zwavelatomen in oranje). De elektrische veldlijnen van de excitonen reiken buiten het materiaal waardoor deze niet worden afgeschermd.

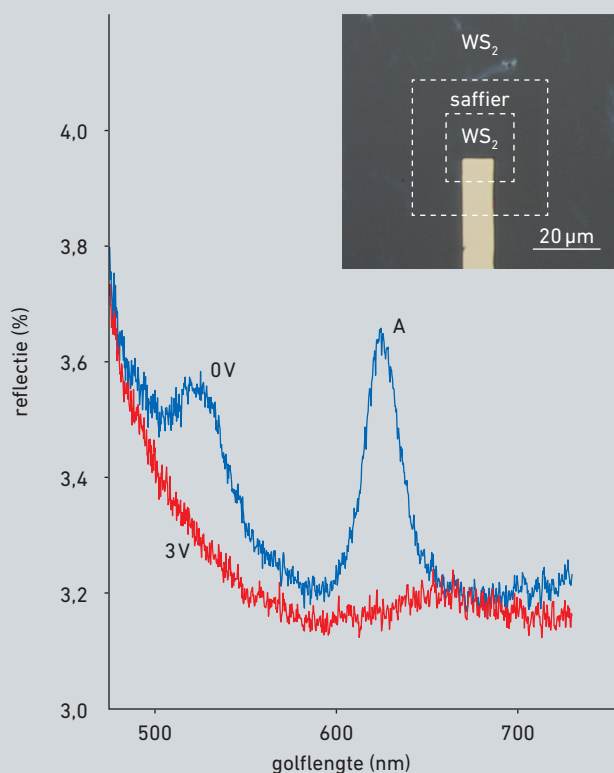
deeltjes treden plasmonresonanties op. Hierbij heeft het elektrische veld van het inkomende licht interactie met de vrije elektronen in het metaal en laat het deze elektronen trillen met dezelfde frequentie als het licht. Deze frequentie bepaalt de golflengte λ van het licht binnen het metaal via de relatie $\lambda = c/(nf)$, met c de lichtsnelheid, n de brekingsindex en f de frequentie. Door het metaal te structureren op een schaal kleiner dan de golflengte van licht, wordt de resonante trilling van de elektronen gemanipuleerd en hangt de resonantiefrequentie af van de vorm en grootte van het nanodeeltje. In nanodeeltjes gemaakt van diëlektrische of halfgeleidermaterialen wordt licht intern opgesloten door middel van reflecties aan het oppervlak van het nanodeeltje. Resonanties treden op wanneer het licht na een

ronde door het deeltje constructief met zichzelf interfereert. Deze resonanties zijn vernoemd naar Gustav Mie, die in 1908 de theorie voor lichtverstrooiing door bolvormige deeltjes op de nanoschaal beschreef. Het basisprincipe is ook toepasbaar op nanodeeltjes met andere vormen. Het zorgt ervoor dat licht efficiënt kan worden opgesloten en daardoor zeer sterk kan worden verstrooid. De amplitude en fase van het verstrooide licht hangen af van de golflengte van het inkomende licht. Als alternatief om controle te krijgen over de amplitude en fase van het licht kan men de golflengte vastleggen en nanodeeltjes met verschillende grootte combineren. Dit principe vormt de basis voor *metasurface flat optics*: de faseverschuiving die licht normaal gesproken verzamelt op zijn weg door bijvoorbeeld een glazen

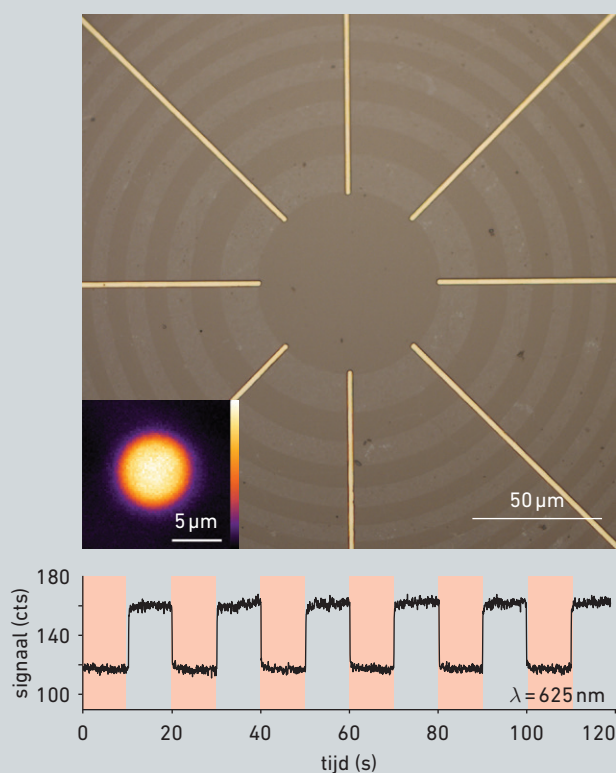
lens kan worden vervangen door de faseverschuiving die verkregen wordt bij resonante verstrooiing. Een slim ontworpen patroon van nanodeeltjes kan daardoor fungeren als een rooster van puntbronnen van licht, vergelijkbaar met de (oneindige) verzameling puntbronnen die aan het einde van een gewone lens ontstaat, en met een functie die vastgelegd ligt in de geometrie op de nanoschaal. Het resultaat: een ultradunne optische coating waarmee licht gestuurd kan worden.

De nieuwe uitdaging: dynamische metaoppervlakken

Na een van de eerste en belangrijkste experimentele demonstraties van optische metaoppervlakken in 2011 [3] nam het vakgebied een hoge vlucht. Al snel bleek dat metaop-



Figuur 4. Reflectiespectrum van een $20\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ groot vierkant WS_2 op saffier. Zonder externe potentiaal is een sterke reflectiepiek te zien als gevolg van lichtverstrooiing door excitonen (blauwe lijn). Door elektronen te injecteren in het WS_2 -materiaal wordt de excitonpiek onderdrukt (rode lijn). Inzet: microscoopfoto van het gehele apparaat met het vierkant van WS_2 . Schaalbalk: $20\ \mu\text{m}$.



Figuur 5. Atomair dunne lens met elektrisch verstelbare efficiëntie. Boven: microscoopfoto van het midden van de lens. Inzet: beeld in het brandpunt, 2 mm boven de lens. Onder: intensiteit in het brandpunt als functie van tijd bij het aan- en uitzetten van de gate-potentiaal. De lichtrode achtergrond duidt aan wanneer de gate-potentiaal gelijk is aan 3V.

pervlakken veel meer kunnen dan alleen het vervangen van standaard optische elementen door ultradunne tegenhangers. Complexe ontwerp-principes die gedurende de afgelopen jaren zijn ontwikkeld hebben geleid tot metaoppervlakken die driedimensionale kleurhologrammen, driedimensionale *light-field imaging* en zelfs analoge berekeningen kunnen realiseren. Desondanks zijn vrijwel alle metaoppervlakken nog *passief*: de optische functionaliteit ligt vast zodra de nanofabricage voltooid is. Nieuwe en toekomstige toepassingen binnen augmented reality, lidar en dynamische holografie hebben juist actief verstelbare optische elementen nodig. De rol van plasmon- en Mie-resonanties was essentieel in de ontwikkeling van metaoppervlakken, maar hun toepassingen binnen *actieve*

metaoppervlakken blijven tot nu toe erg beperkt. Dit gemis vindt zijn oorsprong in de kleine elektrorefractie- en elektroabsorptie-effecten in metalen en halfgeleiders. De brekingsindex van deze materialen verandert vrijwel niet wanneer we een elektrisch veld aanbrengen of wanneer we de dichtheid van ladingdragers veranderen met behulp van een elektrisch signaal.

De belofte van tweedimensionale quantummaterialen

Tientallen jaren van onderzoek naar optische modulatie hebben duidelijk gemaakt dat de sterkste en snelste veranderingen in de optische eigenschappen van materialen kunnen worden gerealiseerd door middel van excitonen. Deze quantummechanische ‘quasideeltjes’ bestaan uit een

elektron en een gat in een halfgeleidermateriaal (een ‘gat’ is een missend elektron in het atoomrooster), met elkaar verbonden door middel van de coulombkracht. In halfgeleidernanostructuren is de bindingsenergie van de excitonen 5 - 10 meV. Dit is kleiner dan de kinetische energie van elektronen bij kamertemperatuur, waardoor excitonen in zulke materialen niet stabiel zijn en geen rol spelen. In tweedimensionale halfgeleidermaterialen zoals atomair dunne lagen van WS_2 is het een totaal ander verhaal [4]. Deze quantummaterialen zijn zodanig dun (0,6 nm) dat de elektrische veldlijnen van de excitonen buiten het materiaal reiken (figuur 3). Doordat de veldlijnen niet worden afgeschermd door het omringende materiaal is de bindingsenergie van de excitonen

veel groter: zo'n 300 - 500 meV. Het gevolg: excitonen zijn stabiel bij kamertemperatuur en zeer bepalend voor de optische eigenschappen van deze tweedimensionale halfgeleiders. Omdat de elektrische veldlijnen buiten het materiaal steken, zijn excitonen ook erg gevoelig voor externe invloeden. Voor de toepassingen waarin wij geïnteresseerd zijn is dit precies wat we zoeken. Zo kan de bindingsenergie van de excitonen sterk worden veranderd met behulp van elektrische velden en mechanische spanningen. Ook leidt het onderdrukken van de exciton-toestanden tot grote veranderingen in de brekingsindex. De optische eigenschappen van de excitonresonantie zijn dus uiterst veranderbaar.

Atomair dunne lens met een aan-uitschakelaar

De vraag is nu: kunnen we deze excitonresonantie gebruiken om actief veranderbare metaoppervlakken te maken? Om dit te testen hebben we in onze onderzoeksgroep eerst kleine apparaatjes gemaakt bestaande uit $20\text{ }\mu\text{m} \times 20\text{ }\mu\text{m}$ grote vierkantjes van enkellaags WS_2 op een saffiersubstraat, met een gouden elektrisch contact (figuur 4, inzet). Door een elektrische potentiaal (de zogeheten gate-potentiaal, V_g) aan te brengen ten opzichte van een referentiecontact in een elektrochemische cel kunnen we de elektrondichtheid in het WS_2 veranderen. Met behulp van een optische microscoop meten we eerst het reflectiespectrum voor neutraal WS_2 ($V_g = 0\text{ V}$, blauwe lijn). Rond een golflengte van 620 nm is een sterke piek te zien, die wordt veroorzaakt door licht dat sterk verstrooid wordt door de excitonresonantie (figuur 4, 'A'). Deze scherpe piek laat zien hoe sterk de interactie van licht met excitonen is. Vervolgens injecteren we het vierkantje WS_2 met een hoge dichtheid elektronen door een gate-potentiaal van $V_g = 3\text{ V}$ aan te brengen (rode lijn). Het gevolg is overduidelijk: we onderdrukken de excitonpiek volledig. Dit wordt veroorzaakt door de sterke demping van de excitontoestand als gevolg

van exciton-elektronverstrooiing in het WS_2 -materiaal. Dit eenvoudige experiment laat zien hoe krachtig de invloed van de excitonresonantie op de optische eigenschappen van het materiaal is.

Vervolgens gebruiken we grote oppervlakken van enkellaags WS_2 op saffier om atomair dunne optische lenzen te maken met een verstelbare focussefficiëntie. Dit betekent dat we de intensiteit van het licht in het brandpunt kunnen veranderen tijdens gebruik. De materiaalindustrie heeft grote ontwikkelingen doorgemaakt in het prepareren van tweedimensionale materialen: het monster voor dit experiment dat bestaat uit $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ enkellaags WS_2 (nogmaals: slechts 0,6 nm dik!) op een saffiersubstraat is commercieel verkrijgbaar. Met behulp van nanolithografie, plasma-etsen, metaaldeposities en chemische reinigingsprocessen maken we metaoppervlakte-lenzen in de WS_2 -laag met een diameter van 1 mm en brandpuntsafstand van 2 mm (figuur 5). Gouden elektrische contacten lopen radiaal inwaarts om de ladingsdichtheid in het WS_2 aan te sturen met behulp van gate-potentiaalen. Om de werking van de lens te demonstreren belichten we die door het transparante saffiersubstraat heen en zoeken vervolgens het brandpunt boven de lens. De vorm en intensiteit van het brandpunt meten we nauwkeurig door middel van zogeheten confocale microscopie. Door het vermogen van het licht in het brandpunt te vergelijken met wat er op de lens valt, bepalen we de efficiëntie. Ten slotte stellen we de gate-potentiaal in op $V_g = 3\text{ V}$ en meten de invloed hiervan op de intensiteit in het brandpunt. De verandering is opmerkelijk groot: de relatieve intensiteit neemt af met 33%, ondanks de extreem kleine dikte van de lens die de lichtweg beïnvloedt. We zien dat de excitonresonantie in het WS_2 -materiaal uniform wordt onderdrukt en dat de lichtverstrooiing door de excitonen verdwijnt. Deze atomair dunne lens heeft nu een aan-uitschakelaar!

De toekomst van atomair dunne transparante optica

Het unieke resultaat van dit experiment is een gevolg van de combinatie van quantummechanische effecten en klassieke optica. Het resultaat opent de deur voor de ontwikkeling van een geheel nieuwe categorie optische elementen. In de huidige vorm van de lens zijn echter nog enkele fundamentele en technische uitdagingen. De voornaamste beperking is de efficiëntie van de lens. Ondanks de 33% modulatie-efficiëntie is de absolute efficiëntie minder dan 1%. Dit betekent dat 99% van het licht nog onverstoord doorgelaten wordt – de lens is dus uiterst transparant. Deze efficiëntie kan sterk verbeterd worden door materialen van hogere kwaliteit te gebruiken, maar zal waarschijnlijk kleiner dan 10% blijven. Dat lijkt nog steeds weinig, maar er is een grote groep nieuwe toepassingen waarvoor zelfs de huidige 1% efficiëntie al meer dan voldoende is en daarbij is de transparantie juist een pré. *Heads-up displays* voor augmented reality vereisen bijvoorbeeld dat de buitenwereld onverstoord wordt gezien door de gebruiker. Omdat de gevoeligheid van het menselijk oog logaritmisch schaal, is 1% efficiëntie voldoende om beelden te projecteren in het gezichtsveld van de gebruiker [5]. Kortom: de elektrisch verstelbare en atomair dunne lens die we in dit experiment hebben gemaakt vormt een belangrijke stap in de ontwikkeling van transparante dynamische optische elementen. De lens laat zien dat quantummaterialen unieke kansen bieden om nieuwe functionaliteit te ontketen.

REFERENTIES

- 1 Nanfang Yu en Federico Capasso, Flat optics with designer metasurfaces, *Nature Materials* **13**, 139 - 150 (2014).
- 2 Jorik van de Groep et al., Exciton resonance tuning of an atomically-thin lens, *Nature Photonics* **14**, 426-430 (2020). (Figuren 4 en 5 en het introductiefiguur zijn gebaseerd op figuren uit deze publicatie.)
- 3 Nanfang Yu et al., Light propagation with phase discontinuities: generalized laws of reflection and refraction, *Science* **334**, 333 (2011).
- 4 Sajedeh Manzeli et al., 2D transition metal dichalcogenides, *Nature Reviews Materials* **2**, 17033 (2017).
- 5 Alex Krasnok, Metalenses go atomically thick and tunable, *Nature Photonics* **14**, 409 - 410 (2020).

ZWARTE GATEN BELICHT

Op dinsdag 10 april 2019 verzamelden zich, onder leiding van Carlos Moedas (Eurocommissaris voor wetenschap), EU-functie-onarissen, hoge gasten, wetenschappers en studenten die aan het Event Horizon Telescope-project (EHT) hadden meegewerkt, in de grote zaal van het EU-gebouw te Brussel.

Om 15:07 uur precies, Nederlandse tijd, verscheen op het scherm – voor het eerst ter wereld – het iconische beeld van M87*, het supermassieve zwarte gat in het sterrenstelsel Messier 87 dat zo'n 500 triljoen (10^{18}) kilometers van de aarde is verwijderd. Op exact dezelfde tijd gebeurde hetzelfde te Washington, Tokio, Santiago de Chili, Shanghai en Taipei zodat het beeld, overgenomen door bijna alle tv-zenders in de wereld, zo'n vier miljard kijkers bereikte. De presentatie te Washington gebeurde door de directeur van het EHT-project, Shep Doeleman (Harvard/MIT), terwijl die te Brussel werd gehouden door de voorzitter van het EHT Scientific Council, Heino Falcke (Radboud Universiteit).

Falcke is sinds 2006 hoogleraar astrodeeltjesfysica en radioastronomie te Nijmegen. In 2011 won hij de Spinozapremie voor zijn werk op het gebied van zwarte gaten terwijl hij in 2013 ook een subsidie van veertien miljoen euro kreeg toegewezen in het

kader van het Synergy Grant Programme van het European Research Council (ERC). Dat was voor een door hem ingediend project voor het fotograferen van SgrA*, het zwarte gat in het centrum van ons melkwegstelsel dat zich in het sterrenbeeld Sagittarius (boogschutter) bevindt. Falcke heeft zijn project, BlackHoleCam(era) genaamd, onderdeel gemaakt van het EHT-project om zowel het supermassieve zwarte gat van M87* (6,4 miljard zonnemassa) als van SgrA* (vier miljoen zonsmassa) te fotograferen. In het NTvN is reeds bericht over de eerste foto van een zwart gat (zie juni 2020), maar het is uniek om van een van de initiatiefnemers en leiders van het EHT-project te vernemen hoe zoiets precies in zijn werk gaat. Eerder had Falcke zijn Spinozapremie (2,5 miljoen euro) voor het EHT-project beschikbaar willen stellen, maar de Amerikanen (met het oog op een te verwachten Nobelprijs?) wilden de Europeanen er niet bij. Maar een inbreng van veertien miljoen euro konden ze niet weigeren.

Het boek van Falcke is boeiend geschreven, niet in het minst door de verschillende autobiografische inkijkjes en persoonlijke ervaringen die het bevat. Falcke was namelijk reeds vanaf zijn studietijd door het onderwerp gegrepen. Zijn cum laude bekroonde proefschrift, *Hungernde Löcher und aktive Kerne: die zentrale Maschine in galaktischen Zentren*, ging dan ook over supermassieve zwarte gaten in het centrum van sterrenstelsels. In zijn boek beschrijft Falcke zijn werk als astrofysicus en de internationale samenwerking die hij tot stand moest brengen om via het EHT-project een foto van M87* en SgrA* te realiseren. De Event Horizon

Telescope is een combinatie van over de hele wereld verspreide radiotelescopen – van Hawaï tot Chili, Spanje en Antarctica – die via atoomklokken en gecorreleerde computerbestanden zo precies op elkaar worden afgesteld dat daarmee een beeldscherpte kan worden bereikt die vergelijkbaar is met een telescoop met een wereldwijde apertuur. Falcke is praktiserend christen. In zijn boek vertelt hij ook wat wetenschap en geloof voor hem betekenen. Het boek wordt in twaalf talen uitgegeven, waaronder Engels, Duits, Frans, Spaans, Chinees en Japans. *Licht in de duisternis* is een interessant en boeiend boek en juist nu een aanrader tijdens de lockdown.



BOEKGEGEVENS
LICHT IN DE DUISTERNIS,
Heino Falcke met Jörg Römer, Prometheus 2020,
ISBN 9789044645231, 336 pagina's, € 24,99.

De NNV in 2020 in vogelvlucht

In dit artikel blik ik graag kort terug op wat de NNV in 2020 heeft gedaan. De ruimte is beperkt, dus niet alle activiteiten passen de revue. Voor informatie over de rest van de activiteiten verwijs ik graag naar het complete jaarverslag dat op www.nnv.nl/algemene-ledenvergadering komt te staan.

Pre SARS-CoV-2

In de korte periode voor de uitbraak van SARS-CoV-2 waren de NNV-activiteiten nog op locatie. Zo was er op 24 januari voor het eerst in jaren weer een Landelijke Natuurkundepacticumdag. De bedoeling is om deze traditie weer in ere te herstellen. Betrokkenen bij natuurkundepactica op de universiteiten en hbo's kwamen bijeen op de Universiteit van Amsterdam voor een kijkje in elkaars keuken. Een zeer succesvolle dag en naar aanleiding daarvan werden plannen voor de volgende editie gemaakt en een nieuwsbrief gestart.

Op 27 januari was NNV-voorzitter Diederik Jekel uitgenodigd bij de uitgebreide hoorzitting over Curriculum.nu – het traject waarbij

gewerkt wordt aan een nieuw curriculum voor het primair en voortgezet onderwijs. Hij was een van de genodigden die door de Tweede Kamercommissie voor Onderwijs, Cultuur en Wetenschap waren verzocht vragen van de Kamerleden over het eindproduct van Curriculum.nu te beantwoorden. Diederik Jekel maakte deel uit van een sessie waarin vakverenigingen werden bevraagd. Op deze manier kon de NNV haar zienswijze kenbaar maken, vooraf was deze door de NNV op papier gezet en aan de Kamercommissie gestuurd.

Ook konden in de eerste maanden van 2020 onze Quarktravelreizen voor leerlingen en docenten van het voortgezet onderwijs nog plaatsvinden. Onze laatste reis bleek achteraf de laatste groep te zijn die op CERN welkom was. Begin 2020 konden bijna zeshonderd leerlingen en docenten via de NNV nog op bezoek bij een Europees natuurkundig onderzoeksinstituut. Dit jaar was aan de reizen een filmwedstrijd gekoppeld. Een aantal leerlingen is enthousiast aan het filmen geslagen, zodat we een mooi beeld hebben van hoe het eraan toegaat tijdens onze reizen, zie www.quarktravel.nl voor de resultaten.

Coronatijden

En toen brak het coronavirus SARS-CoV-2 uit en werd alles anders. Na de eerste onwennige periode, beslo-

ten we FYSICA om te turnen in een online-evenement. Nu heel gewoon, destijds absoluut vernieuwend. Het was spannend, maar het bleek een uitstekende keuze. FYSICA 2020 werd op 17 april een doorslaand succes met Physicaprijswinnaar 2020 Martin van Hecke, Nobelprijswinnaar 2019 Didier Queloz, de Young Speakers Contest en enkele prijsuitreikingen. De zeshonderd bezoekers bleven tot het eind en gaven hoge waarderingcijfers. Achteraf zijn we als NNV diverse malen gevraagd naar hoe we dit hadden georganiseerd, andere organisaties wilden duidelijk van ons leren. Een groter compliment kun je niet krijgen. Eenmaal de smaak te pakken hebben we meer zaken online gedaan. Zo werd de algemene ledenvergadering op 3 juni digitaal gehouden. En we hebben in 2020 twee onlineactiviteiten over zwaartekrachtgolven georganiseerd samen met de Virgo Collaboratie. De eerste keer was op 19 juni speciaal voor NNV-leden, de tweede editie was eind oktober voor leerlingen en docenten in het voortgezet onderwijs. Eindoordeel van de deelnemers: 4,6 sterren op een maximum van 5. De opnames zijn na te kijken via de NNV-website. Sommige NNV-secties zijn ook overgegaan tot een onlinecongres, zo had de sectie subatomaire fysica een mooie dag met een afsluitende onlineborrel waarvoor vooraf borrelpakketjes waren toegestuurd.

De NNV reikt jaarlijks diverse prijzen uit. In 2020 was dat niet anders.

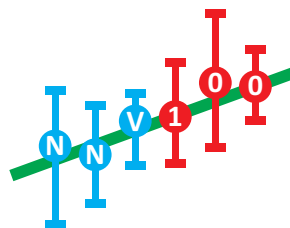
- Zheng, Matthijs Jansen en Nico Hendrickx. Hun artikelen waren te lezen in het aprilnummer van het NTvN.
- In het najaar van 2020 kon men natuurkundige instituten nomineren voor de NNV-Diversiteitsprijs 2020. De jury is vervolgens aan de slag gegaan om de uiteindelijke winnaar te bepalen. De prijs is uitgereikt op 18 januari 2021 aan de faculteit Technische Natuurkunde van de TU/e. Zie ook elders in dit NTvN.

Maandelijks stelt de NTvN-redactie een mooie editie van het *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* samen. Het themanummer was dit jaar gewijd aan voeding. Een dik nummer boordevol informatie over de combinatie van voeding en natuurkunde. Het nummer past in de traditie om jaarlijks een bijzonder themanummer uit te brengen. Het NTvN kent ook een studentenredactie waarin vrijwel iedere natuurkundeopleiding in Nederland vertegenwoordigd is. Als dank voor de inzet heeft de NNV een schrijfworkshop voor deze studentenredactie georganiseerd. De workshop werd geleid door iemand met een grote staat van dienst op journalistiek vlak, zodat er veel kennis kon worden overgedragen.

Op de NNV-site is een notitie geplaatst met daarin verschillende wegen die

leiden naar het docentschap, opgesteld door de NNV-sectie Onderwijs en Communicatie. Het tekort aan natuurkundedocenten is nog altijd groot, er kan niet genoeg aandacht voor dit probleem zijn. Speciale aandacht gaat uit naar de viering van het honderdjarig jubileum van de NNV in 2021. Gedurende 2020 is enorm hard gewerkt om activiteiten in gang te zetten en voor te bereiden, het hele programma zit coronabestendig in elkaar. De dag voor kerst lanceerde de NNV de eerste digitale nieuwsbrief voor leden en relaties. In deze kleurrijke nieuwsbrief stond veel informatie over de eerste activiteiten van het feestjaar, zoals bijvoorbeeld de gratis posters voor scholen, gastlessen in de klas en de dichtwedstrijd Dicht een Deeltje. En natuurlijk over de komende voorzittersverkiezing. In februari 2021 kiezen NNV-leden een nieuwe voorzitter, de kieslijst is in 2020 door de kiescommissie bekendgemaakt.

Er staat ons een mooi jaar 2021 te wachten, vier het met ons mee!



Universitair onderwijs tijdens een pandemie: mechanica en relativiteitstheorie op afstand

In het voorjaar van 2020 gingen scholen en universiteiten dicht. Het onderwijs moest hals over kop op een andere manier worden georganiseerd. Onze studenten waren bezig met hun derde onderwijsperiode; de docenten hadden geen tijd om zich hierop voor te bereiden omdat hun cursussen al liepen. Ik had op dat moment zelf gelukkig geen onderwijs, maar ik wist dat ik in september aan de beurt zou zijn. In dit artikel vertel ik hoe ik dat heb aangepakt.

Ik geef de eerstejaarscursus *Mechanica en Relativiteitstheorie*. Ik verwachtte grote aantallen studenten omdat men geen eindexamen had gedaan en geen tussenjaar zou kunnen doen. Daarnaast was het evident dat na de zomervakantie de coronamaatregelen weer verscherpt zouden moeten worden. Het was dus cruciaal om een onderwijsmodel te kiezen dat bestand is tegen het uitvallen van personeel en technische problemen, dat zo effectief mogelijk gebruikmaakt van de tijd op de campus die wij tot onze beschikking hebben en dat studenten zo snel mogelijk zou leren om zelfstandig te werken en elkaar in kleine groepjes te motiveren. Tenslotte was het essentieel dat de structuur en werkwijze vanaf het begin af aan duidelijk zou zijn, zodat ik studenten meteen structuur en regelmaat zou kunnen bieden.

Uitgangspunten

- Werkcollege op de campus in vaste

werkgroep van vier studenten (drie uur per week + drie uur per week voor andere cursus).

- Vaste assistent per twaalf à zestien studenten (dus drie à vier werkgroepen: mentorgroep).
- Assistent en studenten vormen een team.
- Werkcollege online met dezelfde werkgroepen.
- Kernstof van tevoren opgenomen in kennisclips.
- Het kijken van kennisclips is ingeroosterd, tijdens deze tijd is assistentie online beschikbaar.

Wat in deze structuur nog ontbreekt, is een manier om door plenaire vragen studenten enige inspraak te geven in het soort voorbeelden dat wordt behandeld. Hiervoor introduceerde ik de 'vrijdagvraag'. Iedere mentorgroep kon donderdag voor 17:00 uur een vraag indienen aan de hand waarvan ik vrijdagochtend tijdens een

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = \frac{-f(1/u)}{m^2 u^2}, \quad u = \frac{1}{r}$$

$$f(r) = -\frac{k}{r^2}$$

$$f(1/u) = -ku^2$$

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = \frac{ku^2}{m^2 u^2} = \frac{k}{m^2} = \text{constant}$$

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = 0 \rightarrow \cos, \sin$$

$$u = \frac{k}{m^2} + " \cos " = \frac{k}{m^2} + A \cos(\theta - \theta_0)$$

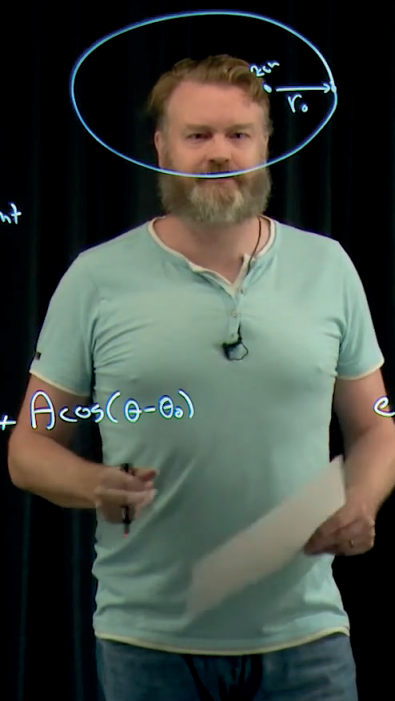
$$r = \frac{1}{u} = \frac{1}{\frac{k}{m^2} + A \cos(\theta - \theta_0)}$$

$$\theta = 0 \rightarrow \frac{1}{\frac{k}{m^2} + A \cos \theta}$$

$$A=0 \rightarrow r = \frac{m^2}{k} \rightarrow \text{cirkel}$$

$$= r_0 \frac{1+e}{1+e \cos \theta}$$

$$e = \frac{Am^2}{k}, \quad r_0(1+e) = \frac{m^2}{k}$$



Figuur 1. Schermafbbeelding uit een kennisclipje.

livestream college gaf. Deze vragen gingen vaak over details in de stof, maar ook over hoe je de stof in de actualiteit terugziet.

Kennisclips

Voor het opnemen van kennisclips heb ik gebruikgemaakt van het Lightboard, een faciliteit waarvoor het Freudenthal Instituut een studio heeft ingericht, compleet met technische ondersteuning [1]. Een Lightboard is een met licht omrande glasplaat waarop met fluorescerende stiften wordt geschreven (zie figuur 1). Door gebruik te maken van dit Lightboard, kon ik het college min of meer zo opdelen als ik gewend was; ik moest het alleen in geschikte blokjes van ongeveer tien minuten opknippen. Tussendoor uitvegen is op een Lightboard niet goed mogelijk, dus de stof moet ook zo worden gepland dat één bord voldoende is om alles uit te werken. In totaal heb ik 64 clipjes opgenomen,

in vier sessies van samen veertien uur. Ik heb kleine foutjes laten zitten en slechts twee of drie keer een clipje opnieuw gedaan. Het idee was dat ik tijdens een livecollege ook foutjes zou maken en perfectionisme zou in dit geval simpelweg te veel tijd hebben gekost.

Een risico bij het aanbieden van de stof in de vorm van kennisclips is dat studenten het bekijken van de clips als vrijblijvend ervaren. De sociale controle die studenten bij het volgen van hoorcolleges ervaren, ontbreekt immers en de verleiding is groot om te denken dat ze die clipjes altijd later nog kunnen bekijken. Er waren ook zeker studenten die de clipjes niet bekeken of pas bekeken als de werkcollegesommen niet lukten. Om toch wat sociale controle te hebben, heb ik het bekijken van de clipjes expliciet in het rooster gezet. Als extra stimulans was directe onlinehulp bij de clipjes alleen tijdens deze geroosterde tijden beschikbaar. Daarnaast

was het bekijken van de clipjes een werkgroepactiviteit. De studenten waren dus tijdens het kijken in MS Teams aanwezig in een meeting met hun werkgroep. De studenten maakten (samen) ook tussenopgaven om verdere discussie over de clipjes te bevorderen. Als werkgroepen niet online waren, kon ik dat in MS Teams zien en kon ik studenten daar op aanspreken.

Werkcolleges

Het belangrijkste deel van een cursus is in Utrecht al decennialang het werkcollege. Hier gaan de studenten zelf aan de slag met de stof en leren ze zelfstandig problemen op te lossen. Dit is cruciaal voor de rest van hun opleiding, maar ook voor hun latere beroepsleven. We hebben bij ons in de opleiding echter al jaren het gevoel dat het traditionele werkcollege van vier uur per keer in effectiviteit afneemt. Ik kon als student de concentratie tijdens zo'n lang

BETROKKENEN OVER HET COLLEGE

Student Lisa

De manier waarop het college Mechanica en Relativiteitstheorie in MS Teams was ingericht, is wat mij betreft een compliment waard. Voor ieder werkgroepje van vier studenten was een kanaal aangemaakt. Hierin keken we meestal samen de kennisclips van Dries en hielpen we elkaar tijdens het onlinewerkcollege. Deze kleinschalige opzet maakte dat ik het zelf beter aandurfde om mijn vragen te stellen en om met mijn medestudenten in discussie te gaan. In een ander kanaal konden we de hulp van onze student-assistenten inroepen. Dit werkte heel goed.

Vervelend was dat het in MS Teams moeilijk is om uitwerkingen met elkaar te delen. In het programma is het wel mogelijk een whiteboard te gebruiken, maar daarop schrijven met een muis gaat slecht. Verder vond ik de werkcolleges (tweemaal drie uur) wat aan de lange kant. Over de kennisclips zelf ben ik heel tevreden. Per week was er niet één lange opname, maar waren er steeds een stuk of acht kortere clipjes. Grappig was dat deze onderling goed verbonden waren, vaak door de iconische zin: "Maar wat nu als...? Dat gaan we in het volgende filmpje bekijken."

De vrijdagvragen gingen dikwijls nogal de diepte in. Daardoor behoorden de antwoorden erop niet altijd tot de stof die we moesten beheersen. Ze gaven echter wel de mogelijkheid om vakoverstijgend naar de materie te kijken en dat was heel waardevol. Het hielp daarbij zeker dat Dries er iedere keer weer een goed samenhangend verhaal van wist te maken. Al met al vind ik de aanpak bij Mechanica geslaagd, al heb ik natuurlijk geen vergelijkingsmateriaal: ik weet helaas niet hoe het er 'normaal' aan toe gaat.

Lisa van Eij,
Student dubbele bachelor Natuurkunde en Scheikunde

Opleidingsdirecteur Peter

In het voorjaar werd het fysieke onderwijs op de universiteiten van de een op de andere dag gestopt en werden alle colleges online aangeboden. Voor de zomer werd al snel duidelijk, dat deze situatie voorlopig niet anders gaat worden. In Utrecht hebben we met verschillende docenten van de opleiding 'rond de tafel gezeten' om de implicaties hiervan nader te beoordelen. Vragen zoals hoe we zo optimaal mogelijk de stof kunnen aanbieden aan de studenten, hoe we de studenten actief betrokken houden in een cursus, hoe we de feedback aan de studenten zo duidelijk mogelijk, maar ook zo efficiënt mogelijk kunnen geven, hoe we studenten zo snel mogelijk de overgang laten maken van de middelbare school naar het universitaire denken, kwamen in een ander daglicht te staan en dwongen ons met nieuwe antwoorden te komen. In dit artikel geeft een van onze docenten aan hoe hij hiermee is omgegaan in zijn cursus, die voor de studenten hun eerste kennismaking is met de studie natuur- en sterrenkunde.

Peter van der Straten,
Opleidingsdirecteur Natuur- en Sterrenkunde

Student Ingmar

Het verbaast me hoe soepel en natuurlijk het onderwijs op afstand verloopt. Vooral de hoorcolleges zijn prima online te volgen. Clipjes hebben het voordeel dat je zelf kunt kiezen wanneer en met welke snelheid je de stof uitgelegd krijgt. Bovendien blijven ze beschikbaar, zodat het makkelijker is dan ooit om je kennis even op te frissen. Het is wel jammer dat de hoorcolleges nu vooral een individuele aangelegenheid zijn geworden. Waar je in een collegezaal nog veelbetekenende blikken of opmerkingen zou uitwisselen, zetten mensen online meestal microfoon en webcam uit om zich te concentreren op de stof.

Werkcolleges zijn wat lastiger te vertalen naar een online-alternatief. Praten is in het algemeen moeilijker als je elkaar niet ziet; vragen stellen, overleggen of uitleg geven dus ook. Iedereen die ooit een wiskundige vergelijking heeft geprobeerd voor te lezen, weet wel waar ik het over heb. Daarnaast blijf je in mijn ervaring online langer doorploeteren met een lastige opgave voordat je hulp vraagt aan een assistent. Als eerstejaars in 2020 weet ik niet beter dan thuiscolleges in coronatijd. Maar toch: als je tweemaal per week door die lege gangen van het Buys Ballot Gebouw loopt, besef je wel hoeveel je nu eigenlijk mist.

Ingmar Degroote,
Student dubbele bachelor natuur- en wiskunde



Figuur 2. Foto van de opstelling waarmee bij de opleiding natuur- en sterrenkunde aan de Universiteit Utrecht onlinecollege wordt gegeven. In de foto zijn om privacyredenen de schermjes van de studenten vervaagd.

werkcollege ook niet opbrengen, ik was te lang aan het ploeteren en ging daardoor niet effectief om met mijn tijd. Ik heb daarom de afgelopen jaren al geëxperimenteerd met een kleinschaliger werkcollege. In plaats van twee werkcolleges van vier uur, bood ik twee werkcolleges van twee uur aan en een intensief werkcollege van twee uur in de mentorgroep (met tien à vijftien studenten). Tijdens dit intensieve werkcollege ging het niet alleen over sommen, maar werd ook gesproken over efficiënter studeren en ingewikkelde concepten. Omdat we in verband met COVID-19 sowieso alleen in kleine groepen op de campus mochten werken, heb ik daarom alle werkcolleges op deze kleinschalige manier georganiseerd. Studenten zaten op de campus in groepjes van vier, waarbij ze binnen het groepje natuurlijk anderhalve meter afstand hielden. In een (groot) lokaal zaten vier van deze groepjes (samen een mentorgroep), die daarbij door een assistent werden geholpen. De assistent was gekoppeld aan de mentorgroep, waardoor deze een band kon opbouwen met de studenten. Doordat de studenten tijdens het werkcollege op de campus intensief samenwerkten en snel door hadden wat ze aan elkaar hadden, konden ze ook tijdens het onlinewerkcollege effectief samenwerken. Het zorgde ook voor grappige taferelen. Als een student om wat voor reden ook niet naar het werkcollege kon komen, zette een collega-student simpelweg een laptop op de lege plek van de student die daardoor via MS Teams aanwezig kon zijn.

Vrijdagvraag livestream

Iedere donderdagavond om 17:00 uur begon voor mij de voorbereiding van het college van vrijdagochtend. Het bleek best een uitdaging om aan de hand van zo'n twintig individuele vragen een coherent college van 45 minuten samen te stellen. Ik had de studenten echter plechtig beloofd dat iedere vraag beantwoord zou worden. Als een vraag echt niet in de rest van het verhaal paste, beantwoordde ik deze in de chat op MS Teams, maar

Groep 1-4	Maandag	Dinsdag	Woensdag	Donderdag	Vrijdag
9:00-9:45					Vrijdagvraag: livestream
10:00-10:45					
11:00-11:45					
12:00-12:45					
13:15-14:00					
14:15-15:00					
15:15-16:00	Kenniscip: in groepjes, docent online aanwezig		Werkcollege (online): werkcollege sommen maken (in groepjes)		Werkcollege (campus): werkcollege sommen maken (in groepjes)
16:15-17:00				Inleveren vrijdagvraag	
Groep 5-9	Maandag	Dinsdag	Woensdag	Donderdag	Vrijdag
9:00-9:45					Vrijdagvraag: livestream
10:00-10:45					
11:00-11:45					
12:00-12:45					
13:15-14:00					
14:15-15:00					
15:15-16:00	Kenniscip: in groepjes, docent online aanwezig		Werkcollege (campus): werkcollege sommen maken (in groepjes)		Werkcollege (online): werkcollege sommen maken (in groepjes)
16:15-17:00				Inleveren vrijdagvraag	
Groepen 10 - 12 (N&W)	Maandag	Dinsdag	Woensdag	Donderdag	Vrijdag
9:00-9:45					Vrijdagvraag: livestream
10:00-10:45					
11:00-11:45	Kenniscip: in groepjes, docent online aanwezig				
12:00-12:45					
13:15-14:00					
14:15-15:00					
15:15-16:00					
16:15-17:00					

Figuur 3. Schema voor verschillende mentorgroepen. In groepen 1 t/m 9 zitten studenten natuur- en sterrenkunde en natuur- en scheikunde. In groepen 10 t/m 12 zitten studenten natuur- en wiskunde (N&W).

over het algemeen gingen veel vragen dezelfde kant op. Wat op vrijdag werd behandeld was geen tentamenstof, iedereen die aanwezig was, was er dus puur uit interesse. De vragen gingen behoorlijk diep in, niet zelden heb ik de algemene relativiteitstheorie, quantummechanica of vloeistofdynamica er op de vrijdag bij moeten halen. Natuurlijk iedere keer met verwijzingen naar vervolgcursussen. Voor de livestream maakt onze opleiding gebruik van het systeem dat in figuur 2 is weergegeven. Een camera die met behulp van voetschakelaars op verschillende borden kan worden gericht en een monitor die groot genoeg is om de chat te kunnen lezen en een aantal van de studenten te kunnen zien.

Terug naar het oude normaal?

We gaan er allemaal vanuit dat we ooit weer zonder restricties onderwijs zullen kunnen aanbieden. Dan zal de vraag zich aandienen: hoe zou ik mijn onderwijs willen inrichten als het weer 'normaal' mag? Wil ik nog wel terug naar de situatie van vroeger? De studenten zijn zeer enthousiast over de clipjes; die kunnen ze namelijk op pauze zetten en mij niet. Het bijkomende voordeel is dat ik tijdens de cursus meer tijd over heb om individueel met studenten te spreken. De studenten vinden mij

in ieder geval dit jaar veel toegankelijker dan vorige jaren. Mijn kantoor stond altijd voor studenten open, maar eerstejaars durven daar normaal geen gebruik van te maken. Nu weten ze niet beter: zet een vraag op Teams en de docent reageert. Ook het werken in kleine groepjes functioneerde over het algemeen zeer goed; de vraag is alleen of ik zonder deze noodtoestand weer zo veel student-assistenten krijg om mijn cursus mee te organiseren. Natuurlijk zien de studenten elkaar liever vaker op locatie, maar wellicht is het aanbieden van een onlinecomponent wel een manier om het werken in kleinere groepen te stimuleren en vooral om de docent benaderbaar te maken.

Dankwoord

Mijn dank gaat uit naar Fridolin van der Lecq, Robin van Damme en Arjen Vredenberg.

Dries van Oosten (1976) studeerde natuurkunde aan de Universiteit Utrecht en promoveerde daar in 2004. Zijn groep doet onderzoek naar Bose-Einsteincondensatie van licht en extreem niet-lineaire optica.

REFERENTIE

1 <https://science.educate-it.uu.nl/lightboard>.

Een eeuw natuurkundevrouwen: Caroline Emilie Bleeker en Marjolein Dijkstra

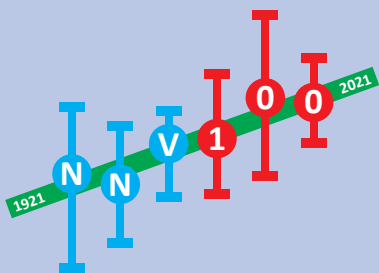
Ter gelegenheid van het honderdjarige bestaan van de NNV kijken we hoe het vrouwen verging in de Nederlandse natuurkunde in de afgelopen honderd jaar. Om de maand publiceren we een tweeluik met twee bijzondere vrouwelijke natuurkundigen, een uit het verleden en een die nu actief is. Deze maand deel één met Caroline Emilie Bleeker en Marjolein Dijkstra.

Na een vliegende start bij Leonard Ornstein in Utrecht veroverde Lili Bleeker de wereld met de fasecontrastmicroscopen die Nobelprijswinnaar Fritz Zernike in samenspraak met haar bouwde. Marjolein Dijkstra werd geboren toen Bleeker al afscheid had genomen van haar bedrijf en leidt nu de succesvolle onderzoeksgroep Computer simulations of Soft Condensed Matter van het Debye Institute for Nanomaterials Science, die huist in het Leonard S. Ornstein Laboratorium in Utrecht.

Caroline Emilie (Lili) Bleeker (1897-1985): eigenzinnig, succesvol en eenzaam aan de top

Toen de Nederlandse Optiek- en Instrumentenfabriek dr. C. E. Bleeker NV in Zeist eind 1949 haar deuren opende, vond het *Algemeen Handelsblad* dat een berichtje waard: “Tot directeuren zijn benoemd de heren dr. C.E. Bleeker en dr. G.J.D.J. Willemse”. Welke redacteur hield er in die jaren ook rekening mee dat het anders kon zijn en dat één van de twee heren een vrouw was? Caroline (Lili) Bleeker was al sinds 1937 bezig met het vervaardigen van optische instrumenten. Maar dat kwamen de *Handelsblad*-lezers pas in 1954 te weten. Althans, de lezers van de ‘vrouwenpagina’, die toen een interview afdruckte met ‘juffrouw Bleeker’, de vrouw aan wie “Nederland [zijn] optische industrie mede” te danken had [1]. Het stukje ernaast

ging over zakgeld voor huisvrouwen. Bleekers fabriek in Zeist was in die jaren vijftig een bloeiende onderneming. In een “prachtig modern gebouw” met veel ramen vervaardigden zo’n 150 mensen een scala aan optische en andere meetinstrumenten. Het bedrijf had bovendien internationaal faam vergaard doordat het fasecontrastmicroscopen had gebouwd, een uitvinding waarvoor aan de Groningse hoogleraar Frits Zernike in 1953 een Nobelprijs was toegekend. Het octrooi op deze microscopen, waarin driedimensionale structuren in nagenoeg transparant, levend celmateriaal zichtbaar werden gemaakt door slim gebruik te maken van de faseverschillen tussen twee lichtbundels, hadden Zernike en Bleeker in 1947 samen verworven – hun samenwerking ging al tot 1937 terug.



Caroline Emilie Bleeker achter een draaibank, omstreeks 1930.
Foto: Wikipedia - Universiteitsmuseum Utrecht.



Eigenzinnig en succesvol

Eigenzinnig en wars van beknottende conventies was Bleeker altijd al geweest. Als jongste dochter van een predikant uit Middelburg had ze haar moeders wens naast zich neergelegd om in het huishouden te blijven helpen. Ze was naar de hbs gegaan – al zou ze zelf liever gymnasium hebben gedaan – en had daarna in Utrecht haar kandidaatsexamen wiskunde gehaald. Een baan als docent beviel haar vervolgens maar matig en zo was ze in 1920 aan een studie sterrenkunde begonnen, met assistentschappen bij de Sterrewacht Sonnenborgh als bijbaan. Na nóg een koerswijziging belandde ze op het Utrechts Natuurkundig Laboratorium van Leonard Ornstein, bij wie ze op 5 november 1928 cum laude promoveerde op het proefschrift *Emissie- en dispersiemetingen in de seriespectra der alkaliën* [2]. Het was in de jaren twintig van de vorige eeuw niet heel gewoon

voor een vrouw om natuurkunde te studeren en in dat vak te promoveren. Het gebeurde zeker vaker dan later in de jaren vijftig, toen de huiselijkheidscultus – oftewel de gedachte dat “hem de wereld was en haar het huis” – zijn hoogtepunt bereikte [3]. Toch ontkwam ook Bleeker niet aan dat huiselijkheidsideaal. Het Koninklijk Besluit dat in 1924 vastlegde dat vrouwen bij hun huwelijk ontslagen zouden worden uit overheidsbanen zoals aan een universiteit, was hier in feite een eerste uitwerking van [4]. En al besloten Bleeker en haar oud-studiegenoot Gerard Willemse om te gaan samenwonen zonder te trouwen, toch slaagde ook Bleeker er niet in om een universitaire positie te bemachtigen. In plaats daarvan richtte zij op 5 juni 1930 haar Fysisch Adviesbureau op om universitaire en industriële laboratoria met raad en daad terzijde te staan bij het ontwerpen en bouwen van specialistische

instrumenten. Het was gedurfd én vooruitstrevend: het volgende adviesbureau dat de kennisuitwisseling tussen industrie en universiteit wilde stimuleren was TNO dat in 1932 werd opgericht [2,5].

Uniek in Nederland: een optiekfabriek

Bleeker zelf legde zich intussen meer en meer toe op het vervaardigen van instrumenten. Het bedrijf dat zij was begonnen in een garagebox “met één draaibankje en één boormachientje [...] benevens een werkbank”, moest al snel verhuizen naar vier door tuinen met elkaar verbonden panden aan en rond de Korte Nieuwstraat in Utrecht [6]. Toen haar levensgezel Willemse, tot dan toe hoofdassistent van de technische dienst van de Utrechtse natuurkundefaculteit, in 1936 als vennoot toetrad, waren er al 25 medewerkers. Geïnspireerd door gesprekken met Zernike, die zij

tijdens haar promotieonderzoek had leren kennen en met wie zij bevriend was geraakt, voegde Bleeker een jaar later een optische afdeling aan haar bedrijf toe [7]. Dat was iets nieuws in Nederland, waar lenzen en microscopen vooral bij de grote Duitse fabrikanten als Zeiss werden aangeschaft. Maar weer werd

werden meegenomen, konden ze de vader van Willemse niet meer waarschuwen. Hij werd betrap met drukproeven voor de illegale uitgeverij De Bezige Bij en dezelfde dag gefusilleerd [8]. Bleeker en Willemse doken daarna voor de zekerheid zelf onder, terwijl intussen de fabriek werd geplunderd.

“Volgens een vrouwelijke werknemer probeerde Bleeker steevast de verhouding der seksen een beetje in evenwicht te brengen.”

het een succes: de Nederlandsche Optiek- en Instrumentenfabriek Dr. C.E. Bleeker (Nedoptifa), zoals het door Bleeker en Willemse geleide bedrijf vanaf 1939 heette, mocht prismakijkers voor het Nederlandse leger produceren. Samen met Zernike werkte Bleeker bovendien aan de fasecontrastmicroscop. Op het idee daarvoor had Zernike al in 1932 octrooi gekregen, maar Zeiss, de fabrikant die dat octrooi exploiteerde, maakte er volgens hem maar weinig vorderingen mee.

Internationaal vermaard

De Tweede Wereldoorlog maakte een abrupt einde aan de plannen en de bloei van Nedoptifa. Bleeker en Willemse weigerden zaken te doen met de Duitsers, zagen daardoor het bedrijf verpieteren en moesten een deel van het personeel ontslaan. Het bedrijf bleef wél open en bood onderdak aan verschillende onderduikers. Toen leden van de Feldgendarmarie in 1944 een inval deden, konden deze mensen ternaauwernood ontsnappen: een gealarmeerde Bleeker had de Duitsers net lang genoeg aan de praat weten te houden. Maar doordat Bleeker en Willemse voor verhoor

Haar standvastigheid leverde Bleeker na de oorlog een koninklijke onderscheiding op en een herstell krediet dat zij en Willemse tot op de cent terugbetaalden uit de winst van hun nieuwe bedrijf. “(...) dankzij haar ijzeren energie is alles weer volledig opgebouwd”, schreef journalist Lenie Schenk daarover in 1948 [9]. Bleekers scherpe verstand was natuurlijk minstens zo belangrijk. Het was geen wonder dat Zernike na de oorlog graag naar Zeist kwam waar hij, aldus een interview in het Handelsblad, “zijn methode verder [heeft] vervolmaakt” [10]. Niet voor niets hadden Zernike en Bleeker sinds 1947 een gezamenlijk octrooi op die verder vervolmaakte fasemicroscop en zouden zij in 1960 een gezamenlijk octrooi op een nóg verfijndere variant ervan krijgen.

Vergetelheid

Het werden Bleekers succesjaren. Bij Nedoptifa kende ze haar werknemers bij naam. Ze organiseerde met Willemse puzzeltochten en concerten voor het personeel, liet werknemers met een puntensysteem hun premie-loon opkrikken en gaf jongeren de kans om intern een driejarige oplei-

ding tot instrumentmaker te volgen. Volgens een vrouwelijke werknemer probeerde Bleeker bovendien steevast “de verhouding der seksen [in het bedrijf] een beetje in evenwicht” te brengen. Maar haar stijl van leidinggeven, die óók nogal autoritair was, raakte begin jaren zestig uit de tijd. Bovendien slaagden Bleeker en Willemse er niet in om een nieuwe, lastige situatie het hoofd te bieden: goedkoper producerende Japanse optica-bedrijven kaaptten al snel orders voor hun neus weg. Op 31 december 1963 namen zij afscheid van hun bedrijf dat zeven jaar later, in 1970, door optica-fabrikant Oude Delft werd overgenomen. Willemse overleed in 1980. De door dementie getroffen Bleeker vereenzaamde daarna in een verpleeghuis in Zeist, door de wereld vergeten. In 1985 werd ze naamloos in het graf van Willemse bijgezet. Het is aan Bleekers biograaf Gijs van Ginkel te danken dat er sinds 1997 op dat graf wél een steen ligt met haar naam erop.

REFERENTIES EN NOTEN

- 1 Interview met mej. Dr. C.E. Bleeker, *Nederland kreeg optische industrie mede dankzij het werk van een vrouw*, Algemeen Handelsblad, Delpher, 21 januari 1954.
- 2 Marianne Offereins, Caroline Emilie Bleeker (1897-1985): een vrouw in een fysisch bedrijf, *Gewina* 20:4, 297-308 (1997).
- 3 Deze samenvatting van het huiselijkheidsideaal is van dichter-dominee Jan Jakob Lodewijk ten Kate (1819-1889).
- 4 Dat overkwam bijvoorbeeld Truus Eymers, die zeven jaar na Bleeker bij Ornstein promoveerde, en die na haar huwelijk decennialang tot onbezoldigd werk en thuis zitten veroordeeld was. Zie Ida Stamhuis en Marianne Offereins, *Twee vrouwelijke natuurkundigen en hun promotor in het Interbellum: Lili Bleeker, Truus Eymers en Leonard Ornstein*, *Gewina/Tgggnwt* 20:4, 256-266 (2012).
- 5 G. Somsen, *Hooge school en maatschappij*. H.R. Kruijt en het ideaal van wetenschap voor de samenleving, *Gewina/Tgggnwt* 17:3, 162-176 (2012).
- 6 Bleeker aan Murk Jan Schoen, brief van 10 november 1968; aangehaald in [7] p. 25.
- 7 Gijs van Ginkel, Dr. Caroline Emilie Bleeker en de Nederlandsche Optiek- en Instrumentenfabriek Dr. C.E. Bleeker, *Fylakra Limited Editions* (1997).
- 8 Gerardus Johannes Willemse (1871-1944) is begraven op het Nederlands Ereveld Loenen. In 1928 had de drukkerij van Willemse Bleekers proefschrift gedrukt. Voor meer over de Bezige Bij activiteiten, zie bijvoorbeeld Lisette Lewin, *Het Clandestiene Boek 1940-1945* p. 115, 116 (1983).
- 9 M.G. Schenk (ed.), *Vrouwen van Nederland 1808-1948, De vrouw tijdens de regering van koningin Wilhelmina* p. 269 (1948).
- 10 Interview met Zernike in Bleekers fabriek te Zeist, Algemeen Handelsblad, Delpher, 9 november 1953.



Marjolein Dijkstra.

Marjolein Dijkstra (1967-): scherpe randjes van de competitie afhalen

“Wie meer vrouwen wil zien op de Nederlandse natuurkundefaculteiten, kan haar aandacht het beste op het middelbaar onderwijs richten”, vindt Marjolein Dijkstra. Want dáár verliezen meisjes hun interesse in de natuurwetenschap, al vindt ze het lastig om te zeggen waar dat precies in zit. Hardnekkige maatschappelijke patronen spelen ongetwijfeld mee, net als allicht de verwachtingen van docenten. Wie weet denken meisjes dat zij beter zijn in talen omdat woordjesrepetities hogere cijfers opleveren dan een natuurkunde-proefwerk, net zoals Dijkstra’s eigen dochters dat deden. En dat meisjes vaak een negatief advies krijgen voor het profiel Natuur en Techniek versterkt zulk gebrek aan vertrouwen in hun eigen kunnen in de bètavakken, denkt Dijkstra. Zij vermoedt dat bij zulke adviezen meespeelt dat scholen baat

hebben bij hoge slagingspercentages en gemiddelde cijfers. Het gevolg is in elk geval dat meisjes, zonder Natuur en Techniek-profiel, de toegang tot exacte studies nogal eens mislopen. Zelf was Dijkstra een meisje dat wél van de exacte vakken bleef houden. Inmiddels leidt ze al eenentwintig jaar de onderzoeksgroep Computer simulations of Soft Condensed Matter van het Debye Institute for Nanomaterials Science in Utrecht. Toch bewandelde ook zij omwegen om te komen waar ze is en kreeg ze geregeld met ‘het nadeel van de twijfel’ te maken. Op de middelbare school bijvoorbeeld, zag haar natuurkundeleraar weinig in haar voorliefde voor het vak “waarin je wiskunde kunt gebruiken om áán iets te rekenen”. Zelfs haar vader, een fysicus die zijn dochter nooit met radio’s had zien knutselen, had reserves. Zo kwam

Dijkstra in Wageningen terecht, waar ze moleculaire wetenschappen studeerde en tot haar teleurstelling natuurkunde niet als bijvak mocht volgen. Het was eind jaren tachtig; de campagne “Kies exact” was op stoom en de campagne “Een slimme meid is op haar toekomst voorbereid” stond in de steigers. Maar toen Dijkstra zich drie jaar later in Utrecht alsnog bij natuurkunde wilde inschrijven, waren de reacties opnieuw terughoudend. Ze kon beter blijven “koeien melken in Wageningen”, grapte de studieadviseur, “want natuurkunde is niets voor een meisje”. Weer drie jaar later – ze had haar Wageningse diploma op zak en haar natuurkundestudie zo’n beetje voltooid – ontmoedigde ook haar afstudeerbegeleider bij de Utrechtse natuurkundefaculteit haar om verder te gaan in het vak. Zo voelde Dijkstra zich pas echt thuis tijdens haar promotieon-

derzoek, bij Daan Frenkel, op het FOM-instituut Amolf. “Al moet ik erbij zeggen dat de sfeer op de natuurkundefaculteiten nu gelukkig wel anders is.”

Geen smoesjes

Tegenwoordig worden faculteiten erop aangekeken als er weinig vrouwen rond-

Dijkstra zelf ontdekte nog niet zolang geleden dat zij een paar formidabele voorgangsters heeft. In haar vakgebied draait het om colloïden, deeltjes van ongeveer een duizendste millimeter zoals bloedlichaampjes, virusdeeltjes, pigmentdeeltjes in verf of vetbolletjes in melk. De vraag is telkens wat voor struc-

“Het is een heel hardnekkig probleem dat we in Nederland veel vrouwen kwijtraken”

lopen. Door de Commissie Sectorplan Bèta en Techniek bijvoorbeeld, die de overheid adviseert over de verdeling van de sectorplanmiddelen uit de eerste geldstroom. De commissie houdt bij of bètafaculteiten inderdaad 35 procent van de posities met een vrouw proberen in te vullen. Ze kunnen dat streven niet langer met smoesjes wegwuiven, zegt Dijkstra. “We dwingen ze echt. En dan blijkt het faculteiten vrijwel altijd te lukken om excellente vrouwen te vinden. Bijvoorbeeld door de advertenties breder op te zetten en niet té specifiek naar expertise in één klein vakgebiedje te vragen.”

Tegelijk is de natuurkunde in Nederland nog steeds een mannenbolwerk. Neem het aantal vrouwelijke hoogleraren. Dat steeg in Nederland sinds 2000 weliswaar van 13 naar 24,2 procent, maar de natuurkunde bleef, met rond de 16 procent, ver achter bij dat gemiddelde [1]. Bovendien komen de meeste vrouwelijke natuurkundehoogleraren hier uit het buitenland. “Het is een heel hardnekkig probleem dat we in Nederland veel vrouwen kwijtraken”, zegt Dijkstra, “Het percentage vrouwelijke natuurkunde-studenten blijft al jaren tussen de vijftien en twintig procent schommelen.”

Ze waren er wél

Heel lang werd dat trouwens helemaal niet als probleem ervaren. Vrouwen hadden in de natuurkunde toch nooit een rol van belang gespeeld? Nu begint zelfs dat beeld te kantelen. Ook

turen er ontstaan wanneer een goed geprepareerde dispersie van colloïden onder bepaalde omstandigheden spontaan een kristal vormt. De computersimulaties die Dijkstra's groep daarvoor gebruikt, blijken rechtstreeks voort te bouwen op de computerberekeningen die Mary-Ann Mansigh in de jaren vijftig van de vorige eeuw eindeloos uitvoerde voor fysicus Berni Alder, overigens zonder dat haar naam op diens publicaties verscheen [2]. Net zo bleek Elizabeth Monroe lang genegeerd als medebedenkster, naast John Kirkwood, van de eerdere theoretische voorspelling dat die colloïden, simpelweg beschreven als harde knikkers, inderdaad spontaan een kristal kunnen vormen [3].

Voor Dijkstra en haar groep bieden de computersimulaties nu haast eindeloze mogelijkheden om naar nieuwe zelfgeassembleerde structuren te speuren. Door knikkers aan elkaar te rijgen, kunnen bijvoorbeeld polymeren worden nagebootst en laatst bleken banaanvormige colloïden zich in helixstructuren te organiseren [4]. Soms blijken de gevonden patronen al in de natuur voor te komen, soms kunnen ze synthetisch worden nageemaakt, en het mooist is het als dat tot nieuwe, duurzame materialen leidt, voor toepassing in bijvoorbeeld zonnecellen.

Rolling grants

Eén aspect van die simulaties bracht Dijkstra in 2007 in haar oratie ook met vrouwen en natuurkunde in ver-

band [5]. Door in een iteratief proces steeds de beste kandidaatkristalstructuren te selecteren als uitgangspunt voor de volgende stap, borduren ze voort op Darwins *survival of the fittest*. En al deelt Dijkstra niet Darwins idee dat vrouwen in intellectueel opzicht voor mannen onderdoen, toch had die grote Britse geleerde misschien wél gelijk toen hij veronderstelde dat door die *survival* bepaalde verschillen tussen mannen en vrouwen zijn uitgegroot, denkt zij. Mannen zijn bijvoorbeeld competitiever dan vrouwen, ziet ze keer op keer. En dát verklaart misschien mede waarom vrouwen in de Nederlandse natuurkunde vaak afhaken. Want: “Het Nederlandse systeem is enorm competitief in vergelijking met veel andere landen.”

Niet voor niets is Dijkstra dus enthousiast over het voorstel van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen voor *rolling grants*. Deze subsidies uit de eerste geldstroom zouden universitaire onderzoekers de kans moeten geven vrij aan een project te werken, zonder tijd, energie en moed te verliezen met het steeds weer schrijven en beoordelen van projectvoorstellen. Het kan de scherpe randjes van de competitie afhalen, denkt zij. Maar of de Nederlandse natuurkunde door zulke maatregelen al over tien of twintig jaar aanzienlijk meer vrouwen zal tellen? “Daárvor moeten toch ook die aantallen vrouwelijke natuurkunde-studenten omhoog.”

REFERENTIES EN NOTEN

- 1 Landelijk Netwerk Vrouwelijke Hoogleraren, Monitor Vrouwelijke Hoogleraren 2020. Voor het veld ‘natuur’, oftewel natuurwetenschappen, waaronder ook natuurkunde valt is het gemiddeld 16,2%.
- 2 Voor een kort overzicht en referenties zie bijvoorbeeld Tonnishtha Dasgupta, *Colloidal crystallization in bulk, gravity and spherical confinement*, proefschrift UU, p. 6 (2019).
- 3 J.G. Kirkwood en E.J. Monroe, *Chem. Phys.* **9**: 514-514 (1941)
- 4 M. Chiappini, T. Drwinski, R. van Roij en M. Dijkstra, *Biaxial, twist-bend, and splay-bend nematic phases of banana-shaped particles revealed by lifting the “smectic blanket”*, *Physical Review Letters* **123**:6 (2019); C. Fernández-Rico, M. Chiappini, T. Yanagishima, H. de Sousa, D.G.A.L. Aarts, M. Dijkstra en R.P.A. Dullens, *Shaping colloidal bananas to reveal biaxial, splay-bend nematic, and smectic phases*, *Science* **369**, 950-955 (2020).
- 5 M. Dijkstra, *Moeder Natuur nageaapt*, rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Computer simulaties van gecondenseerde materie aan de Universiteit Utrecht op 9 januari 2008.

DE WEG VAN MARTIN SCHUURMANS

Is er leven na het NatLab? En na Philips? En na (vroeg)pensioen? Dat zijn vragen waarmee Martin Schuurmans en andere ex-Natlabmedewerkers worstelen. In dit persoonlijke boek krijgen we een inkijk in de weg (tao) die Schuurmans heeft afgelegd.

Martin Schuurmans (Venlo, 1946) werd na een door Philips gesponsorde promotie onderzoeker bij het fameuze Philipslab. In 1996 werd hij benoemd tot directeur en het roer moest meteen om. Zijn eigen groep, de Theoreten, waarover hij negen jaar de leiding had, werd opgeheven. De groep was befaamd en Schuurmans eigen theoretische werk aan solitonen en superluminescentie ook. Veel van het langetermijnwerk aan halfgeleiders werd verplaatst naar universitaire instituten in Leuven, Delft en Eindhoven, of plots beëindigd zoals het werk aan supergeleiding. Het werk in Delft groeide met Leo Kouwenhoven uit tot QuTech, nu een serieuze quantumcomputing-start-up van Microsoft. De unieke plaats waar de cd-speler was uitgevonden, maar waar ook de basis werd gelegd voor moderne CMOS-chiptechnologie en de productiemachines van ASML, moest efficiënter. De halfgeleiderlasergroep

werd verkocht aan het Amerikaanse Uniphase. Vanaf nu moest iedere onderzoeker zijn of haar werk kunnen verkopen. De wereld werd kleiner, de druk groter. Na Japan en Korea werd ook China een grote markt, maar één waar producten massaal en illegaal gekopieerd werden.

Schuurmans beschrijft zijn leven en loopbaan. Er bleek – zowaar! – leven buiten het NatLab, een bijzonder geliefde werkplek voor fysici waar excentrieke onderzoekers hun eigen deltavlieger bouwden en waar (volgens apocriefe verhalen) een geheim museum was met elektrische gitaren. Eerst werd Schuurmans twee jaar directeur van het Philips Centrum voor Fabricagetechnieken en bracht het naar het terrein van de High Tech Campus aan de zuidrand van Eindhoven. Intussen worden daar de centrale faciliteiten (bewaking, vergader- en congresruimtes, kantines, cafés) gedeeld met onder meer TNO en ASML.

In de laatste drie jaar voor zijn vroegpensioen bij Philips sneed Schuurmans voor een miljard aan overlappende activiteiten weg in het nieuwe Philips Medical Systems. Daarna leidde hij voor een symbolisch salaris van één renminbi een school voor toekomstige Philips ingenieurs in China. Vervolgens had Schuurmans nog de taak van directeur van het Europees Innovatie Instituut en heeft daarover op het hoogste Europese niveau verantwoording afgelegd. Het is een leven in de extreme fast lane van de wereldwijde hightech. Ontwapenend nuchter en sympathiek opgetekend door een aanvankelijk

onzekere, slungelige lange jongen die, met zijn chronisch zieke vader een konijn moest stropen in de sneeuw voor kerst in Venlo.

Onthutsend vond ik dat door alle druk – continu snijden in organisaties – Schuurmans op een zeker moment zo overwerkt was dat hij zich van een gewone wandeling niets meer kon herinneren. De stress door de keiharde focus op getallen (financieel, maar ook de tijden van de marathons die hij liep) is waarschijnlijk herkenbaar voor veel fysici en managers. Of hij de balans gevonden heeft en hoe, dat kunt u nu dus zelf leren.



BOEKGEGEVENS
MIJN TAO. EEN LEVEN LANG LEREN,
Martin Schuurmans, eigen uitgave 2020,
ISBN 9789090330280, 226 pagina's, € 12,99.

Een eeuw fysica

Deel 2: De opkomst van big science en big data

In de tweede helft van de twintigste eeuw werd in de fysica, via samenwerking op zowel nationale als internationale schaal, hoe langer hoe meer gebruikgemaakt van big science en big data. Die trend zal zich ook in de eenentwintigste eeuw voortzetten.

Van kernfysica tot elementaire-deeltjesfysica

In 1938 ontdekten Otto Hahn, Fritz Strassmann en Lise Meitner kernsplijting, waarbij via beschieting met neutronen het uraniumatoom uiteenviel in lichtere atomen terwijl daarbij extra neutronen en hoogenergetische gammastralen vrijkwamen. Uit angst dat de Duitsers via kernsplijting als eerste een kernbom zouden ontwikkelen, startten de Verenigde Staten het geheime militaire Manhattanproject voor de fabricage van wat zij een atombom noemden. Daarbij raakten vele prominente fysici en chemici in Amerika, en 129.000 technici, burgermedewerkers en militairen bij betrokken. Het Manhattanproject is het eerste voorbeeld van big science: een project dat te groot is om door een enkele universiteit te worden verricht en daarom door de staat wordt overgenomen en bekostigd. In het kader van dat project slaagde Enrico Fermi erin om op 2 december 1942 de eerste gecontroleerde kernreactie in een *atomic pile* (de atoomzuil, een prototype van een kernreactor) te demonstreren. Na de oorlog richtte de kernfysica zich in technisch opzicht voornamelijk op de ontwikkeling van kernreactoren voor de productie van kernenergie ten behoeve van de elektriciteitsopwekking. Daarbij kon, tegen $2,4 \cdot 10^7$ joules per kilogram steenkool, een kilogram uranium-235 ongeveer $7,2 \cdot 10^{13}$ joules produceren: een miljoen maal meer!

In wetenschappelijk opzicht concentreerde het onderzoek zich echte hoe langer hoe meer, zowel theoretisch als experimenteel, op de fundamentele bestanddelen van het atoom – de elementaire-deeltjesfysica. Reeds in 1928 had Paul Dirac de wat hij noemde relativistische Schrödingervergelijking ontwikkeld, die nu echter bekendstaat als de Diracvergelijking voor elektronen. Daarin beschouwde hij elektronen als vrije deeltjes met spin $\pm 1/2$ zonder onderlinge interacties. Tot zijn verbazing vond hij dat een elektron een antideeltje bezat, later positron genoemd, met precies dezelfde eigenschappen als het elektron maar met tegengestelde lading. Inderdaad werd het positron in 1932 door Carl Anderson in kosmische stralen experimenteel aangetoond. Bovendien bleek ook dat ieder materieel elementair deeltje een antideeltje bezit. Vanwege Heisenbergs onzekerheidsrelatie kan een quantumfluctuatie een bepaalde energie ΔE voor een korte periode Δt van het quantumveld (vacuüm) 'lenen' om een willekeurig aantal zogeheten virtuele deeltje-antideeltjeparen te creëren om zich daarna weer in gammastralen te annihilieren. Hierdoor is in relativistische quantumsystemen het aantal deeltjes niet behouden. De ontdekking van spin gaf ook aanleiding tot een nieuwe spinstatistiek voor quantumdeeltjes. De Fermi-Diracstatistiek (1926) voor halfvallige spindeeltjes (fermionen) verklaart op grond van het uitsluitingsprincipe van Pauli de ruimtelijke structuur van atomen en materie. Deeltjes met heeltallige spin (bosonen) kunnen juist wel gelijke toestanden bezitten. Voor deze deeltjes geldt de Bose-Einsteinstatistiek (1924), die onder andere beschrijft waarom bepaalde superfluïde en supergeleidende stoffen zich als één coherent geheel gedragen. Rond 1950 slaagden Richard Feynman, Julian Schwinger en Shin-Itiro Tomonaga erin een quantumelektrodynamica (QED) te ontwerpen, waarbij ook de wisselwerking tussen elektronen via fotonen centraal staat. Deze wisselwerking kan met Feynmandiagrammen worden weergegeven.

QED is een quantumveldentheorie (*quantum field theory*, QFT) – een theorie waarbij de elementaire deeltjes worden gezien als quantumfluctuaties van het vacuüm (de grondtoestand van het quantumveld). QED is de meest precieze theorie uit de fysica waarvan de voorspellingen tot op tien tot dertien decimalen achter de komma experimenteel zijn getoetst. Aangevuld met de niet-abelse Yang-Mills-ijktheorie (1954) vormt QED de basis voor alle quantumveldentheorieën van fermionenvelden en hun wisselwerkingen, zoals de quantumchromodynamica (QCD) van de sterke wisselwerking (Gell-Mann, 1973) en de theorie van de elektromagnetische en zwakke wisselwerking (*electroweak theory* (EWT), Glashow, Weinberg, Salam, 1964). In de QFT zijn alle krachtenbosonen oorspronkelijk massaloos, zoals het foton van QED en het gluon van QCD. Dat de krachtendeeltjes van de zwakke wisselwerking (W^+ , W^- , Z^0) wél massa (ongeveer $80 \text{ GeV}/c^2$) bezitten, komt door spontane symmetriebreking van de elektrozwakke symmetrie door het higgsmechanisme: de wisselwerking met het higgsveld, die massa aan de deeltjes verleent (Higgs, Brout, Englert, 1964). De hele theorie van de elementaire-deeltjesfysica – het standaardmodel (SM) – is daarmee geünificeerd en kan worden samengevat in één enkele uitdrukking voor de Lagrangiaandichtheid van het SM. Hoewel zeer succesvol en er geen fysische feiten zijn gevonden die ermee in tegenspraak zijn, is het SM geen volledige, maar slechts een *effectieve* theorie. Het kan bijvoorbeeld niet verklaren of ab initio afleiden waarom de grootte van de massa's van de deeltjes en de sterkte van de krachten zo verschillend zijn, en bovendien is er nog geen manier gevonden om het SM en de zwaartekracht te verenigen.

Omstreeks 1950 werden er steeds meer quantumdeeltjes ontdekt, die echter niet alle elementair bleken te zijn. Die proliferatie ontstond door de uitvinding in 1929 door Ernest Lawrence van het cyclotron – een circulaire versneller waarin aan geladen deeltjes door middel van een magneetveld en een wisselend elektrisch veld een grote kinetische energie kon worden gegeven. In plaats van alfadeeltjes voor de beschieting van atomen had men nu deeltjes ter beschikking met relativistische snelheden en energieën van honderden MeV, dat wil zeggen met een kinetische energie die in de buurt van de protonmassa komt. De huidige grootste versneller ter wereld is de Large Hadron Collider (LHC) van CERN bij Genève. Deze is gebouwd in een onderaardse tunnel op 175 m diepte, met een omtrek van 27 km waar in een vacuümbuis protonen met een snelheid van $0,999\,999\,990\,c$ en een energie van $6,5 \text{ TeV}$ op elkaar worden geschoten. De constructie van het LHC duurde van 1998 tot 2008 en kostte in totaal ongeveer vier miljard euro. Bij het project waren meer dan honderd landen, honderden universiteiten en laboratoria en meer dan tien-duizend wetenschappers betrokken. De LHC werd met name gebouwd om het higgsboson op te sporen dat inderdaad op 4 juli 2012 via de LHC werd aangetoond. Met massa $125 \text{ GeV}/c^2$, lading 0, spin 0 en halfwaardetijd 10^{-22} s , is het higgsboson het zwaarste gemeten wisselwerkingsdeeltje van het SM. Met zes soorten quarks (up, down, charm, strange, top en bottom), zes leptonen (elektron, muon, tau, elektron-neutrino, muon-neutrino en tau-neutrino), drie soorten krachtbosonen



John Bardeen, William Shockley en Walter Brattain bij Bell Labs in 1948. Foto: Wikipedia - AT&T; fotograaf: Jack St.

(elektromagnetisch, zwak, sterk) en het higgsboson, is het standaardmodel compleet. Dit houdt in dat alle fundamentele oftewel quantummechanische fysica met de deeltjes van het SM en QFT volledig kan worden beschreven.

Van vaste stof naar gecondenseerde materie

De vastestoffysica beschrijft microscopisch het collectief gedrag van atomen in vaste (en vloeibare) materie. Op basis van de Schrödingergolfmechanica kon omstreeks 1927 de chemische binding, die via elektronen twee of meer atomen of ionen tot moleculen of chemische verbindingen samenstelt, quantummechanisch worden beschreven. In 1928 beschreef Felix Bloch ook op quantummechanische wijze het gedrag van elektronen in een periodiek rooster van positieve metaalionen. Dit leidde tot de theorie van de elektronbandenstructuur: de vanwege het Pauliprincipe discrete energieniveaus van de elektronen liggen zo dicht bij elkaar dat ze banden vormen. De hoogste, volledig opgevulde energieband – de valentieband – is door een energiekloof E_g (energy gap) gescheiden van de lege of onvolledig opgevulde geleidingsband. Afhankelijk van de grootte van E_g kon men nu onderscheiden: geleiders

(metalen, met kleine E_g zodat elektronen makkelijk van de valentieband in de geleidingsband kunnen overspringen), halfgeleiders (zoals silicium, germanium en galliumarsenide, met grotere E_g , zodat elektronen alleen bij hoge temperatuur kunnen overspringen) en isolatoren (glas, hout, plastic, waarbij geen oversprong van elektronen plaatsvindt). Via toepassing van de Fermi-Diracstatistiek slaagden Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg en Lev Landau erin respectievelijk het paramagnetisme (1927), het ferromagnetisme (1928) en het diamagnetisme (1930) te verklaren. Het antiferromagnetisme werd pas in 1948 door Louis Néel beschreven. Intussen had reeds in 1912 Max von Laue de door Alexis Bravais in 1830 ontworpen classificatie van kristalroosters in veertien Bravais-eenheden via diffractie van kortgolvlige röntgenstralen experimenteel kunnen aantonen en daarmee een nieuw onderzoeksgebied – de röntgenkristallografie – ontsloten. De techniek werd in de daaropvolgende jaren verder ontwikkeld door vader en zoon William en Lawrence Bragg. De laatste zou in 1937 Rutherford opvolgen als directeur van het Cavendish Laboratory te Cambridge. Daar werden aan de hand van deze techniek in 1953 de DNA-structuur door

James Watson en Francis Crick (voortbouwend op metingen van Rosalind Franklin en Raymond Gosling te Londen) en in 1959 de structuur van hemoglobine door Max Perutz en John Kendrew ontdekt.

Op 10 juli 1908 had Heike Kamerlingh Onnes helium-4 als laatste gas vloeibaar kunnen maken bij een temperatuur van ongeveer 4 K. Ook had hij op 8 april 1911 supergeleiding (weerstandloze geleiding) ontdekt – een verschijnsel dat jarenlang niet met bestaande theorieën kon worden verklaard. Pas in 1957 lukte het John Bardeen, Leon Cooper en Robert Schrieffer met de naar hen genoemde BCS-theorie, een quantummechanische verklaring ervoor op te stellen. Het vloeibaar maken van helium bleek uiterst belangrijk voor de ontwikkeling van het vastestofonderzoek aangezien daarmee lage temperaturen tot vlak bij het absolute nulpunt konden worden bereikt. Daarmee kon de door de roostertrillingen veroorzaakte ruis worden onderdrukt, zodat andere verschijnselen beter konden worden gemeten. Tot aan 1923 behield Leiden het record voor de laagste temperatuur op aarde. Daarna werden ook andere koelingsmethoden ontwikkeld zoals adiabatische demagnetisatiekoeling tot in het mK-gebied (William Giauque, 1933), $^3\text{He}/^4\text{He}$ -verduunningskoeling tot 2 mK (Das, De Bruyn Ouboter, Taconis, 1965) en laserkoeling tot aan 40 μK (Hänsch en Schawlow, Wineland en Dehmelt, 1975). Het kouderecord op aarde van 100 pK is sinds 1999 in handen van het Low Temperature Laboratory te Helsinki. In het International Space Station (ISS) is in 2018 gedurende twintig seconden een temperatuur van 1 pK gerealiseerd.

Na de Tweede Wereldoorlog heeft de vastestoffysica – sinds omstreeks 1960 fysica van de gecondenseerde materie (*physics of condensed matter*, PCM) genoemd – een hoge vlucht genomen. Daarbij werden oude onderzoeksgebieden verdiept en nieuwe geëxploreerd. Vooral twee uitvindingen hebben daaraan bijgedragen: de laser (*light amplification by stimulated emission*), in 1960 ontwikkeld door Theodore Maiman en de transistor, in 1948 ontdekt door John Bardeen, Walter Brattain en William Shockley van Bell Labs. Lasers vormen coherente (monochromatische) lichtbronnen of -bundels van hoge intensiteit en zonder spreiding, wat ideaal is voor allerlei experimentele en industriële technieken. Transistoren zijn (micro)elektronische halfgeleider-elementen voor de sturing, schakeling en versterking van zwakke spanningen en stromen. Het voordeel is dat beide tot op millimeters en nog kleiner kunnen worden geminiaturiseerd. Transistoren bijvoorbeeld, kunnen op een (micro)chip van 1 cm^2 of kleiner tot geïntegreerde schakelingen (*integrated circuits*, IC's) worden samengesteld. Zo heeft Samsung Electronics in 2017 een IC-chip ontwikkeld met $2 \cdot 10^{12}$ transistoren. Apart of in combinatie hebben lasers en IC's tot een stroom van nieuwe (draagbare) producten geleid en toepassingen op vele gebieden, zoals consumenten- en professionele elektronica, communicatietechnologie, digitalisatie, signaalverwerking, computers, CAD en CAD (computer integrated en computer aided design), computersimulatie, informatica, robotica, medische diagnostiek en technologie enzovoorts. Vergeleken met de vooroorlogse situatie hebben die ons leven in sociaal, cultureel en economisch opzicht volledig veranderd.

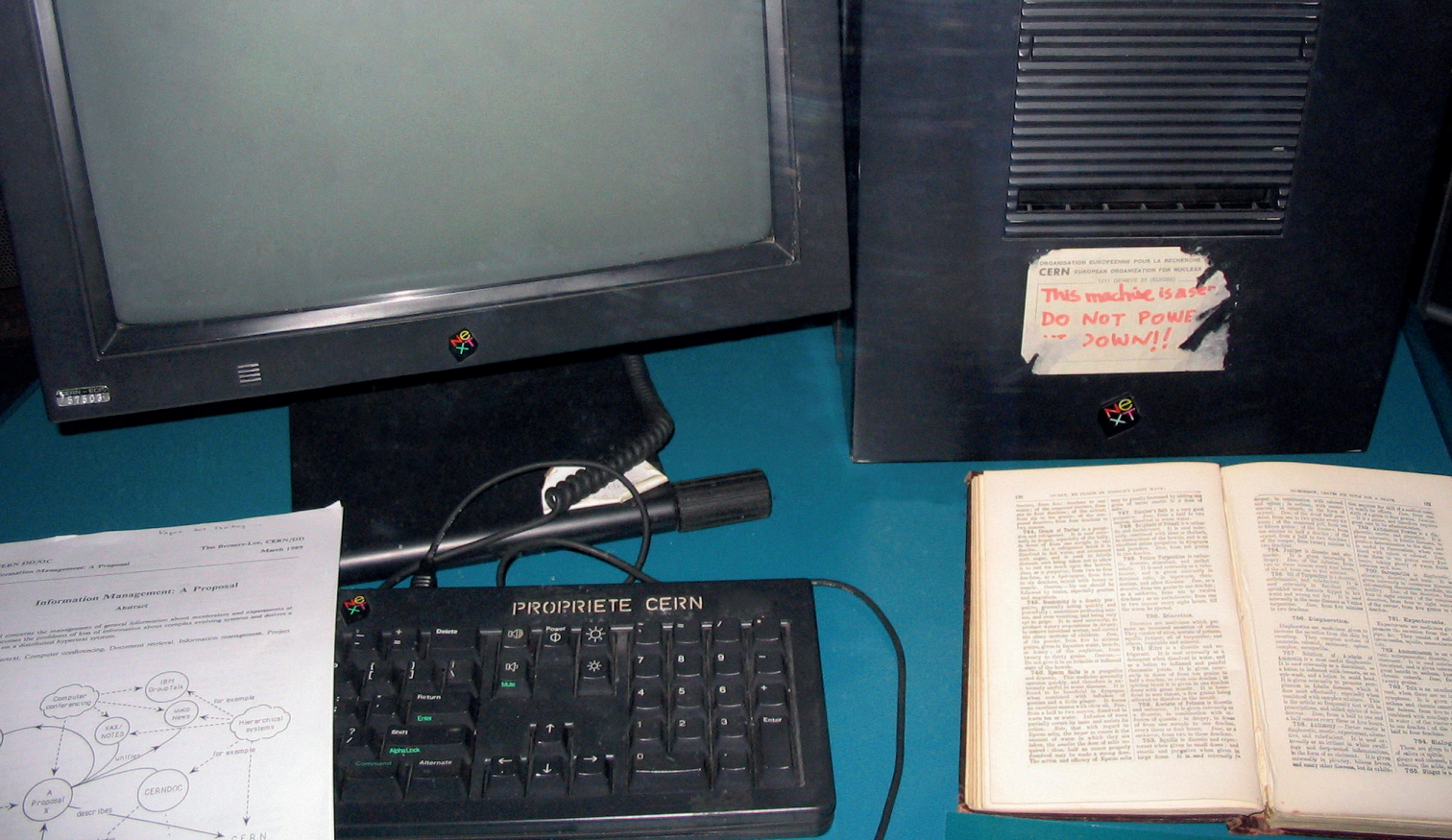
Van bijzonder belang voor het onderzoek bleek de vrije-elektronlaser (John Madey, 1971) die, continu instelbaar, een golflengtegebied kan bestrijken dat reikt van microgolven via terahertz- en infraroodstraling tot aan het zichtbare spectrum en ultraviolet- en röntgenstraling. De enige dergelijke faciliteit in Nederland staat te Nijmegen (FELIX, Free-Electron Lasers for Infrared eXperiments) met een instelbereik van golflengten tussen 3 en 1500 μm (ver-infrarood tot nabij-infrarood). Het unieke aspect van FELIX is dat onderzoek kan worden gedaan in combinatie met de continue 38 tesla (binnenkort 45 T) magneet van het High Field Magnet Laboratory (HFML) aldaar – het op een na hoogste continue magneetveld ter wereld.

Van een statisch naar een versnellend heelal

De legende wil dat Einstein in 1917 bij de toepassing van zijn algemene relativiteitstheorie op het heelal een statisch universum prefereerde en daarom een kosmologische constante λ (lambda) aan zijn veldvergelijking toevoegde om de krimpende werking van de ingesloten massa tegen te gaan. De kosmologische constante is een mathematisch manipuleerbare grootheid met als fysische betekenis een antizwaartekracht, bedoeld om de statische stabiliteit van het heelal te handhaven. Het feit is echter, dat Einstein voor die kwestie sterren(des)kundigen van de Berlijnse sterrenwacht zoals Hermann Struve en Erwin Freundlich had geraadpleegd, en op grond van hun oordeel een statisch universum invoerde. Toen Edwin Hubble in 1929 aantoonde dat sterrenstelsels zich van elkaar verwijderden, wat wees op een uitdijend heelal, verklaarde Einstein de kosmologische constante overbodig en de invoering ervan als zijn grootste blunder. Met dat laatste kan hij ook bedoeld hebben dat hij naar anderen had geluisterd in plaats van zijn eigen fysische logica te volgen. Zeventig jaar later werd de term weer ingevoerd toen astronomen in 1998 ontdekten dat het heelal niet alleen uitdijt, maar versneld uitdijt – iets dat in de algemene relativiteitstheorie alleen kan voorkomen als de kosmologische constante λ , ongelijk is aan nul. De onderliggende fysische grootheid wordt nu ook donkere energie genoemd.

Verder hadden uit de beweging van sterren en sterrenclusters Jacobus Kapteyn (1922), Jan Oort (1932) en Fritz Zwicky (1933) vastgesteld dat er in het heelal een grote hoeveelheid onbekende en niet met licht waar te nemen massa aanwezig is, die door Zwicky donkere materie werd gedoopt. Tegenwoordig is bekend dat het universum slechts voor 4% uit de ons bekende, zogeheten baryonische materie bestaat, voor 26% uit donkere materie en voor 70% uit donkere energie. De laatste twee benamingen vormen slechts parameters voor onze onwetendheid, aangezien we niet weten wat ze inhouden. In 1931 stelde de Belgische priester-kosmoloog Georges Lemaître de hypothese dat, vanwege het uitdijend heelal en terugrekenend in de tijd, het universum moest zijn ontstaan uit een *atome primitive* – een singulariteit, die het allereerste beginpunt vormt van zowel ruimte als tijd en materie. Dit werd later de oerknal oftewel de big bang genoemd.

Na de Tweede Wereldoorlog was de sterrenkunde, gebruikmakend van in de oorlog ontwikkelde technieken zoals radar en raketten, tot onstuimige bloei gekomen. Op basis van



Deze NeXT Computer is gebruikt door Tim Berners-Lee bij CERN en werd de eerste webserver ter wereld. Foto: Wikipedia - Coolcaesar.

technologie die was ontwikkeld voor radar, werden radiotelescopen gebouwd die de ruimte met radiogolflengten van centimeters tot millimeters konden onderzoeken. Om een grotere resolutie te bereiken ontstond in 1946 de radio-interferometrie, waarbij signalen van verschillende antennes gecombineerd en gecorreleerd konden worden om een grotere apertuur te simuleren. Via VLBI (very-long-baseline interferometry) kon een wereldwijd netwerk van radiotelescopen worden gecombineerd – de Event Horizon Telescoop – waarmee op 10 april 2019 een eerste foto van (de schaduw van) een supermassief zwart gat (M87*) kon worden gemaakt.

Een van de eerste Nederlandse radiotelescopen werd in 1954 te Dwingeloo onder leiding van Jan Oort opgericht. In 1970 kreeg deze een opvolger in het nabijgelegen Westerbork met de ingebruikname van de WSRT (Westerbork Synthese Radio Telescoop), bestaande uit veertien parabolische antennes, opgesteld over een lengte van 2,8 km. WSRT meet radiostraling tussen 350 MHz en 8,3 GHz (golflengten tussen 92 cm en 3,6 cm). In 2009-2010 werd LOFAR (Low Frequency Array) bij Exloo (Drenthe) gebouwd, bestaande uit ongeveer 20.000 kleine antennes die metingen doen in het frequentiebereik tussen 10 en 240 MHz. Het staat in verbinding met soortgelijke antennegroepen in Duitsland, Zweden, Engeland, Polen en Ierland, en is daarmee het grootste instrument ter wereld in deze klasse.

Dankzij de CCD (charge-coupled device (1960) waarmee per foton een elektron kan worden gegenereerd) en digitale fotografie konden intensiteit en resolutie van optische telescopen eveneens sterk worden verhoogd en wel over het hele spectrum van

ultraviolet tot infrarood. Vergeleken met telescopen uit 1900 werken de huidige telescopen een miljoen maal beter. Via de rakettechnologie werden ook ruimtelijke telescopen (ruimtesondes) gelanceerd, die, niet meer gehinderd door atmosferische storingen, schitterende digitale foto's konden maken van astronomische verschijnselen die eerder diep in het heelal (en daarmee in de begintijd van diens evolutie) verborgen lagen. Zo werden in samenwerking van NASA (National Aeronautics and Space Administration) en ESA (European Space Agency) in 1990 de optische Hubble-ruimtetelescoop gelanceerd, in 1999 de röntgentelescopen Chandra en XMM-Newton en in 2008 de Fermi Gamma-ray-ruimtetelescoop.

Deze ontwikkelingen hebben tot verschillende ontdekkingen van nieuwe kosmische verschijnselen geleid, zoals pulsars (snel draaiende neutronensterren die elektromagnetische pulsen uitzenden, 1967), quasars (quasi-stellar objects (1962), actieve supermassieve zwarte gaten in centra van sterrenstelsels met een accretieschijf van hoge helderheid), en meer algemeen, zwarte gaten (onzichtbare gebieden in de ruimte-tijd waarin de zwaartekracht zó sterk aanwezig is dat zelfs het licht er niet aan kan ontsnappen). Op 14 september 2015 werd een nieuw bewijs voor het bestaan van zwarte gaten gevonden door zwaartekrachtinterferometers – het Amerikaanse LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) en het Europese VIRGO – die de reeds in 1916 door Einstein voorspelde zwaartekrachtgolven, ontstaan door botsing en versmelting van zwarte gaten, konden detecteren.

Via de ruimtesondes COBE (Cosmic Background Explorer, 1989), W-MAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe,

2001) en het Planck Observatory (2009) kon de kosmische achtergrondstraling (*cosmic microwave background radiation*, CMBR) nauwkeurig in kaart worden gebracht – de vroegste ‘babyfoto’ van het heelal. CMBR oftewel de vroegste toestand van het heelal die kan worden waargenomen, dateert van zo’n 380.000 jaar na de oerknal toen het heelal tot 3000 K was afgekoeld zodat atomen konden ontstaan. Doordat elektronen zich aan protonen en neutronen konden hechten en niet of veel minder met fotonen konden wisselwerken, konden de laatste ‘ontsnappen’ en werd het heelal doorzichtig. Uit de CMBR kan de evolutie van het heelal worden afgeleid. Aangezien de vraag hoe materie in het heelal is ontstaan door zowel kosmologie als elementaire-deeltjesfysica werd gesteld, leidde dat tot samenwerking en tot een nieuw vakgebied, de astrodeeltjesfysica waartoe ook de studie van hoogenergetische kosmische stralen behoort. Aldus ontstond een standaardmodel voor de kosmologie (Standard Model of Cosmology, SMC) oftewel het λ CDM-model, waarbij λ (lambda) staat voor de kosmologische constante of donkere energie en CDM voor *cold dark matter*. De voornaamste componenten ervan zijn: 1) het universum is ontstaan vanuit de oerknal uit pure energie, 2) de massa van het universum bestaat uit 4% baryonische (zichtbare) materie, 26% donkere materie en 70% donkere energie, 3) de gravitationele wisselwerking tussen de drie soorten materie wordt geregeld volgens de algemene relativiteitstheorie terwijl de wisselwerkingen van de baryonische materie beschreven worden door het standaardmodel van de elementaire deeltjes, 4) het universum is homogeen en isotroop op voldoende grote (kosmische) schaal.

Van twintigste naar eenentwintigste eeuw

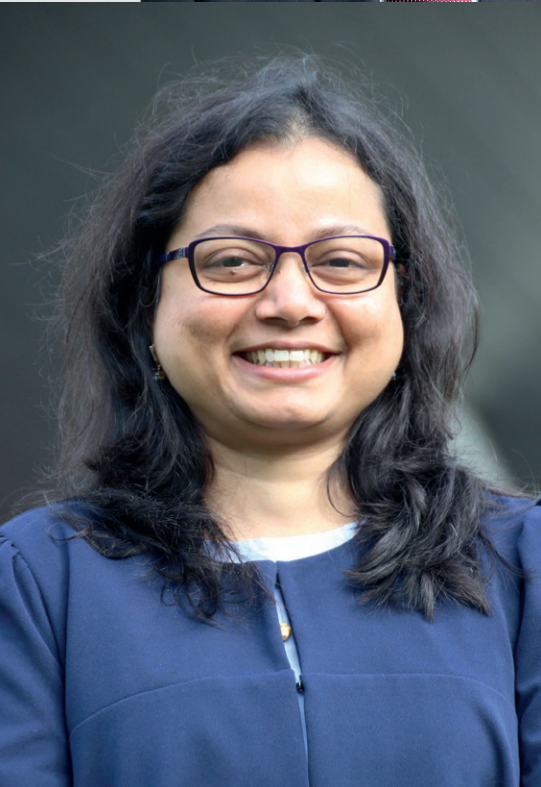
“Voorspellen is moeilijk, vooral als het om de toekomst gaat”, aldus Niels Bohr, maar de dichter Willem Bilderdijk verkondigde: “In het verleden ligt het heden, in het nu wat komen zal.” Bilderdijk heeft ook gelijk: bepaalde trends in de fysica laten zich nu reeds voorspellen. Totdat nieuwe, krachtiger 100 TeV-botserversnellers worden gebouwd, zal de elementaire-deeltjesfysica zich in de eenentwintigste eeuw via de LHC vooral bezighouden met het higgsbosononderzoek. Wellicht dat daarbij verschijnselen worden ontdekt die inzicht geven in mogelijke nieuwe deeltjes of wisselwerkingen van buiten het standaardmodel (*beyond the standard model*, BSM). Sterke nadruk zullen ook krijgen de zoektocht naar donkere materie en het neutrino-onderzoek. Kandidaat voor donkere materie is het axion (Peccei & Quinn, 1977) of een hypothetisch axion-achtig scalair deeltje (ALP, *axion-like particle*), met massa in het ($\mu\text{eV}/c^2$)-gebied. In verband daarmee groeit ook de belangstelling voor het onderzoek naar neutrino’s, ongeladen deeltjes met massa kleiner dan 0,12 eV/ c^2 . Neutrino’s kunnen een mogelijke verklaring vormen voor de materie-antimateriesymmetrie. Bij het symmetrisch ontstaan tijdens de oerknal van materie en antimaterie, zouden die elkaar weer volledig hebben geannihileerd, maar aangezien neutrino’s (met massa) hun eigen antideeltje zijn, zouden ze een rol gespeeld kunnen hebben bij de vorming van een materieoverschot.

Kan men de twintigste eeuw de Gouden Eeuw van de elementaire-deeltjesfysica noemen, de Gouden Eeuw van de astronomie/astrofysica/kosmologie heeft zich reeds omstreeks 1980 aangekondigd en zal zich duidelijk in de eenentwintigste eeuw voortzetten. Steeds krachtiger radio- en optische telescopen, ruimtesondes en ruimtestations zullen het heelal verder exploreren, maan- en Marslandingen zullen nieuwe gegevens opleveren over het ontstaan van de aarde en ons planetenstelsel, studie van de kosmische achtergrond(warmte) straling via ruimtesondes en onderzoek van zwarte gaten via VLBI en via interferometrie van zwaartekrachtgolven zullen leiden tot een verdieping van onze kennis over het ontstaan van het heelal en hopelijk tot een quantumgravitatietheorie. Wat de fysica van de gecondenseerde materie betreft, daarbij zal het onderzoek zich onder andere richten op 1) quantummaterialen zoals fullerenen, grafen, *nanotubes*, quantumdots, skyrmionen et cetera en quantumverschijnselen zoals Bose-Einsteincondensatie (BEC), De-Brogliegolven, quantum-Hall-effect, topologische isolatoren en supergeleiders, hoge-temperatuursupergeleiders, quantumkritische systemen et cetera. 2) Quantuminformatica: quantumcomputers, quantumcryptografie en zo meer. 3) Moleculaire biologie en toepassingen op medisch-biologisch gebied. 4) Oorzaken en gevolgen van klimaatverandering. 5) Productie (kernfusie, zonnecellen), opslag en rendementsverbetering van (schone) energie.

Informatietijdperk en big data

De eenentwintigste eeuw wordt de eeuw van het informatietijdperk en big data. Dat tijdperk begon reeds in 1990 bij de uitvinding door Tim Berners-Lee (CERN) van het world wide web en het *hypertext transfer protocol* waarmee cliënt en server wereldwijd met elkaar kunnen corresponderen en tekst en beeld kunnen overdragen. Van een wetenschappelijk (en militair) netwerk is het web exponentieel uitgegroeid tot honderden miljoenen commerciële en persoonlijke servers met een proliferatie van e-commerce en dot.coms over de hele wereld. Deeltjesfysica en astronomie vereisen enorme computercapaciteit voor dataregistratie, -opslag, -analyse en -bewerking. Het Worldwide LHC Computing Grid heeft voor het vinden van het higgsboson 300 biljoen bytes data geanalyseerd terwijl de LHC ongeveer 25 petabytes per jaar produceert.

Voor de foto van het zwarte gat moesten 8 terabyte data worden gecorreleerd. Verder speelt bij atmosferische en kosmologische experimenten, die uiteraard niet in de realiteit zijn uit te voeren, computersimulatie een grote rol: onder bepaalde aannamen construeert men een model, waarvan de ontwikkeling via iteratieve toevoeging van invloeden wordt aangepast, totdat het de waargenomen verschijnselen dekt. Computersimulatie wordt gezien als een nieuwe vorm van experimentele fysica. Ook in de fysica van de gecondenseerde materie speelt computersimulatie een grote rol (CID, CAD, nanotechnologie et cetera). Kunstmatige intelligentie ten slotte, met name zelflerende machines (gezicht- en spraakherkenning, mensloos bestuurd vlieg- en voertuigen, zelfstandige robots et cetera), zal in het dagelijkse leven een steeds grotere rol vervullen en vele, eerder door mensen vervulde taken vervangen.



Hoe bij te dragen aan een inclusievere natuurkundewereld?

Interview met Saskia Blom

Naar aanleiding van de demonstraties van de internationale Black Lives Matter-beweging in juni 2020 besloot Saskia Blom, bestuurslid van de NNV, om natuurkundigen van kleur in Nederland te interviewen over hun ervaringen in de wetenschap. Haar doel was om zo een informele inventarisatie te maken van voorbeelden van scheve situaties die wetenschappers zijn tegengekomen in de wereld van de natuurkunde. In dit interview bespreken we met haar het resultaat van de interviews.

Saskia Blom voerde individuele gesprekken met personen van kleur op verschillende universiteiten en op verschillende posities. Ter illustratie staan in de kaders enkele voorbeelden van wat er is besproken tijdens drie van de interviews. Gevoelige informatie is hier niet weergegeven. Uit het gesprek met Blom kwam naar voren dat ze merkte hoeveel verhalen over discriminatie en uitsluiting niet eens boven water komen en in de doofpot worden gestopt. “Ik ben geschrokken van hoeveel energie mensen in cover-up stories lijken te stoppen en van hoeveel mensen daaraan meewerken”, aldus Saskia Blom. Zij benadrukt de complexiteit van inclusiviteit: “Het is een probleem waarbij verwachtingspatronen, scheve machtsverhoudingen en systemische buitensluiting in elkaar grijpen. Onbewust en onopzettelijk geven we onze eigen patronen en verwachtingen van generatie op generatie door. Daarbij horen ook patronen van macht, onbewuste vooroordelen en stereotype verwachtingen die ons gedrag beïnvloeden.” De neiging om af te gaan op stereotypebevestigende gedachten en generalisaties wordt impliciete associatie genoemd. Zulke associaties stellen mensen in staat snel te beslissen, maar ze maken ons ook vooringenomen. Dat kan ertoe leiden dat we mensen over het hoofd zien, zonder dat we de bedoeling hebben om iemand buiten te sluiten. “Als buitenstaander zal jou minder vanzelfsprekend autoriteit toegekend worden en moet je autoriteit meer verdienen en mensen overtuigen via intelligente argumenten.” Blom stelt vast dat bij individuele gevallen van discriminatie toeval-

lige willekeur moeilijk te onderscheiden is van statistische patronen. Zij verwijst naar een artikel in *Scientific American* [1] over onderzoek naar impliciete associaties. In dit artikel worden effecten en de betrouwbaarheid van impliciete associatietesten beschreven en wordt vastgesteld dat het belangrijk is om te erkennen dat deze testen geen directe metingen zijn van bijvoorbeeld discriminatie op basis van gender, maar dat zij wel een aanwijzing kunnen geven. Voorbeelden van ervaringen van individuen kunnen een indicatie geven waar natuurkundigen op kunnen letten om inclusiviteit en diversiteit in hun werk- en leeromgeving te verbeteren. Hieronder volgen enige praktische tips voortkomend uit de interviews die Blom afgenomen heeft. Het zijn tips voor zowel individuele natuurkundigen als voor de NNV beroepsvereniging.

Wat kunnen natuurkundigen in het dagelijks leven doen om de natuurkundewereld inclusiever te maken?

Tip 1 - Praten

Als individuele natuurkundigen kunnen we het gesprek omtrent inclusiviteit en diversiteit gaande houden. Dit kan door na te denken over wat er momenteel gebeurt in het kader van inclusiviteit en diversiteit binnen je eigen kringen of door zelf het initiatief te nemen hierover te gaan praten. Probeer de discussie over inclusiviteit en diversiteit niet te zien als een persoonlijke aanval op je gedrag, maar op de onzichtbare patronen in de samenleving. Let bijvoorbeeld op dat je mensen van kleur niet sneller interrumpeert dan witte mensen en dat je tijdens een symposium de sprekers op dezelfde, professionele manier aankondigt. Volgens de westerse overlevering waren bekende wetenschappers in de natuurkunde overwegend wit en man. Dit alleen al leidt tot impliciete associaties,

De mensen die Saskia Blom geïnterviewd heeft. Met de klok mee, beginnend linksboven: Dan Shekwomwaza Solomon, Nandini Bhattacharya, Pacelli Zitha, Vinod Subramaniam (foto: Peter Valckx), Prosper Ngabonziza en Tamalika Banerjee. In het midden: Prashand Kalpoe (boven) en Hires Jadoenathmissier (onder).

DAN SHEKWOMWAZA SOLOMON

Dan Shekwomwaza Solomon is marketingmanager *Battery Materials Europe* bij BASF in Berlijn. Hij volgde de bachelor *mechanical engineering* aan de Ufa State Technical University in Rusland en vertrok daarna naar Duitsland voor een MBA in *technology management* en een master in *environmental engineering* bij het Northern Institute of Technology Management in Hamburg. In 2015 won Solomon een studiebeurs waarna hij ging studeren aan de TU Delft. Solomon komt uit Nigeria en was blij dat Pacelli Zitha voor hem als een rolmodel kon dienen. Het valt Solomon op dat de Afrikaanse wetenschappers die studeren of werken aan de Nederlandse universiteiten uit twee verschillende milieus komen. Er zijn intelligente mensen uit rijke families die goede educatie konden betalen en briljante maar arme mensen die gelukkig genoeg waren om een beurs te kunnen krijgen. Beide groepen hebben genoeg zelfvertrouwen, ze zijn kundig en presteren uitstekend in de academische wereld.

Dan Solomon legt uit dat veel Nederlandse kinderen met ouders van kleur het moeilijker hebben. Voor kinderen met ouders die niet tot nauwelijks kunnen rondkomen is toetreden tot de academische wereld erg lastig. Door hun milieu komen velen niet zo snel in contact met wetenschap, het ontbreekt vaak aan natuurkundige rolmodellen en de omgeving laat regelmatig niet genoeg ruimte voor ontwikkeling. Tegelijkertijd bestaan er veel onbewuste verwachtingen in de Nederlandse samenleving zoals dat ze laagopgeleide banen zullen krijgen. Bovendien zorgen pijnlijke opmerkingen zoals: "Ga terug naar je eigen land" ervoor dat het zelfvertrouwen van deze kinderen kleiner wordt.



Saskia Blom.

die niemand zichzelf kwalijk hoeft te nemen. Maar maak het bespreekbaar, bewustwording is immers de eerste stap naar verbetering. We kunnen ervan uitgaan dat de meerderheid van de mensen niet expres iemand wil buitensluiten, maar dat betekent niet dat we er niets over hoeven te zeggen als het desondanks gebeurt.

Herken je zelf discriminatie en wil je het niet frontaal benoemen? Nandini Bhattacharya gaf de tip om dan te vragen: "Kun je dat nog een keer zeggen?". Ga bij onbedoelde discriminatie in groepsverband achteraf het gesprek aan met alleen de spreker en benoem de actie. Zelfs al is een opmerking bedoeld als 'grap', opmerkingen kunnen bijdragen aan buitensluiting.

Tip 2 - Database

Natuurkundigen in instituten, bedrijven en scholen kunnen nadenken over bijdragen aan een lijst met gastsprekers van kleur. Dit stelt docenten in staat hun studenten of leerlingen te voeden met ervaringen met en beelden van onderzoekers van kleur. Als docent bij de opleiding Technische Natuurkunde van Fontys lijkt het Saskia een idee dat de NNV (mee) werkt aan het opzetten van een lijst met gastsprekers van kleur: "Zo'n lijst zou, naast de naam van de gastspreker, ook informatie verstrekken over welke onderwerpen de spreker kan behandelen, over de vakgebieden waar deze onderwerpen aan raken en over het niveau van de groepen waarvoor de spreker bereid is een gastlesing te verzorgen."

Tip 3 – Optreden als sponsor

Wanneer je iemand uit een gemarginaliseerde groep aanneemt in je onderzoeksgroep kun je jezelf actief inzetten om deuren te openen voor deze persoon en diegene voor te stellen aan relevante onderzoekers en bestuurders. Voor onderzoekers die naar Nederland komen, zou het prettig zijn om snel bekend te raken met de Nederlandse structuur en organisatie binnen een universiteit. Vinod Subramaniam, rector magnificus van de VU in Amsterdam, geeft deze beschrijving aan het woord 'sponsor'. Hij geeft aan dat deze betekenis verder gaat dan de rol van raadgever of mentor.

Wat zou de NNV kunnen doen om meer inclusiviteit te bewerkstelligen?

Tip 4 - Weekendscholen

Het opzetten van een weekendschool voor leerlingen van achterstandsscholen gericht op natuurkunde zou aan kinderen een mogelijkheid bieden om in aanraking te komen met de exacte wetenschap. Masterstudent Hires Jadoenathmisier specialiseert zich in quantumcomputatie. Hij ziet dat er op achterstandsscholen een tekort aan natuurkundedocenten is en denkt dat een weekendschool een goed medium kan zijn om kinderen in aanraking te laten komen met inspirerende rolmodellen en fascinerende natuurkunde. Net als bij een lijst met gastsprekers zou de NNV samen met bestaande

TAMALIKA BANERJEE

Tamaliika Banerjee streeft expliciet naar het vormen van onderzoeksteams die divers zijn. Hierbij kijkt ze niet alleen naar geslacht, afkomst en seksuele voorkeur, maar ook naar combinaties van personen die introvert of extravert zijn, personen met autisme, personen met dyslexie en naar mensen vanuit verschillende disciplines met diverse studieloopbanen. Door veel tijd en moeite te steken in het vinden van talenten en in het leggen van contact, zoals Banerjee ook andere vrouwelijke wetenschappers ziet doen, draagt ze bij aan de opbouw van een inclusieve samenleving. Banerjee promoveerde in 2000 aan de University of Madras in India en deed als postdoc onderzoek aan MIT (Verenigde Staten), aan TIFR (India) en vervolgens werkte ze bij de Universiteit Twente. Sinds 2019 is ze hoogleraar *Spintronics of Functional Materials* bij het Zernike Institute for Advanced Materials van de Rijksuniversiteit Groningen. Banerjee geeft aan dat er behoefte is aan een dialoog met wetenschappers in machtsposities, over hoe we alle mensen kunnen betrekken bij het bestrijden van uitsluitende patronen. Het

gebrek aan diversiteit is namelijk niet het probleem van vrouwen of mensen van kleur. Personen uit gemarginaliseerde groepen die wel een positie in de natuurkundewereld bereiken, worden overladen met diversiteitstaken. Ze worden gevraagd voor commissies, voorzittersposities, promotiecommissies et cetera. Dit wordt niet gecompenseerd met een vermindering in andere universitaire taken. Banerjee verwacht dat het nuttig en lonend is als witte mannen een bijdrage leveren door het gesprek over inclusiviteit aan te gaan. Als zij publiekelijk kunnen verklaren een bepaald aantal posities in hun groep te zullen reserveren voor vrouwen, zou dat tonen dat diversiteit als een belangrijk onderwerp wordt gezien en dat ernaar gehandeld wordt. Wanneer bekende Nederlandse natuurkundigen, waar velen naar opkijken, vrijmoedig spreken over het complexe diversiteitsvraagstuk, zal dit de toon zetten en indruk maken. Uiteindelijk zou het niet moeten gaan over percentages man/vrouw, maar het zou moeten gaan over in wat voor een gemeenschap natuurkundigen zich prettig voelen en willen werken.

weekendscholen, zoals bijvoorbeeld de IMC weekendschool, een initiërende rol kunnen spelen bij het samenbrengen van mensen rond een zomerschool.

Tip 5 - Diverse representatie

Vinod Subramaniam gaf als concrete tip voor de NNV om weer mensen van kleur in het bestuur te vragen. Saskia Blom is het hiermee eens: “Binnen de NNV willen we streven naar een inclusieve en diverse representatie. Door mensen uit gemarginaliseerde groepen te betrekken in de bestaande netwerken kunnen we omschakelen van praten over naar praten met. Om de invloed van dominante groepsprocessen terug te dringen is het van belang dat men niet de enige uit een gemarginaliseerde groep is aan de vergadertafel. Niet alleen in het bestuur, maar ook in beelden, auteurs en de redactie van het NTvN kunnen we diverse representatie bevorderen.”

Tip 6 - Netwerken en interview

Volgens Blom zou het mogelijk moeten zijn om een netwerk op te richten om de in Nederland werkzame technici en natuurwetenschappers van kleur bij elkaar te brengen door samen te werken met de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON), de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) en het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI). “Dit kan op een positieve, constructieve manier gebeuren door bijvoorbeeld een gezamenlijk platform op te richten waar – naast discussie over natuurkundige thema’s – ervaringen kunnen worden uitgewisseld en zo het gesprek over inclusiviteit en diversiteit levend gehouden kan worden. Ook door het oprichten van interviewgroepen zou de NNV zich kunnen richten op het verbeteren van de diversiteit en inclusiviteit in de natuurkundegemeenschap op gebieden als seksuele geaardheid, functiebeperking, levensbeschouwing, gender en sociale klasse. Deelname van natuurkundigen van aanzien kan het opstarten van

PACELLI ZITHA

Pacelli Zitha is hoogleraar *Oil and Gas Production Engineering* aan de TU Delft en voorzitter van het Global Startup Ecosystem Lab. Als student heeft Zitha aan een universiteit in Parijs natuurkunde gestudeerd. Vanwege de taal vertrekken de meeste studenten uit zijn geboorteland Mozambique naar Portugal om daar te studeren, maar hij koos voor Frankrijk. In de eerste jaren was de omgeving heel internationaal. Medestudenten waren afkomstig uit Kameroen, Vietnam, Indonesië en van alle studenten was ongeveer veertig procent niet wit. Naarmate Zitha in hogere jaarlagen kwam, viel hem op dat dit percentage rap afnam. Hij herinnert zich nog goed dat een docent verbaasd was om hem in een vierdejaarscollege aan te treffen. De docent merkte op dat in alle jaren dat hij les gaf dit in zijn college nog niet eerder gebeurd was. Toen hij in 1995 als postdoc naar Delft kwam werd het makkelijker dan wat hij gewend was als arme student in Parijs. De TU Delft is voor hem een beschermde omgeving waarin men kijkt naar wat je kunt en waarbij je huidskleur geen rol speelt. Wel is Zitha, zelfs als hoogleraar, altijd voorzichtig geweest, en waakt hij ervoor politieke spelletjes te spelen.

zo’n groep een impuls geven.”

Oproep vanuit het NNV-bestuur

Heb je ideeën hoe je de diversiteit en inclusiviteit in de natuurkundegemeenschap kunt bevorderen en/of wil je je hiervoor inzetten? Laat ons dan weten welke ideeën je hebt, wat je zou willen en kunnen bijdragen en wat je belangrijk vindt! Dit kan je doen door een e-mail te sturen naar bureau@nnv.nl.

REFERENTIES

1 www.scientificamerican.com/article/how-to-think-about-implicit-bias.

ENERGIE IN BALANS

Je kunt een lessenreeks op veel manieren starten. Elke grootheid kun je introduceren vanuit een praktijksituatie. Altijd kan een theoretisch concept het startpunt zijn. Uitgaan van een technologische uitdaging is ook altijd een mogelijkheid.

Bij een aantal onderwerpen, bijvoorbeeld energie, kan ook nog een maatschappelijk vraagstuk centraal staan in de startles.

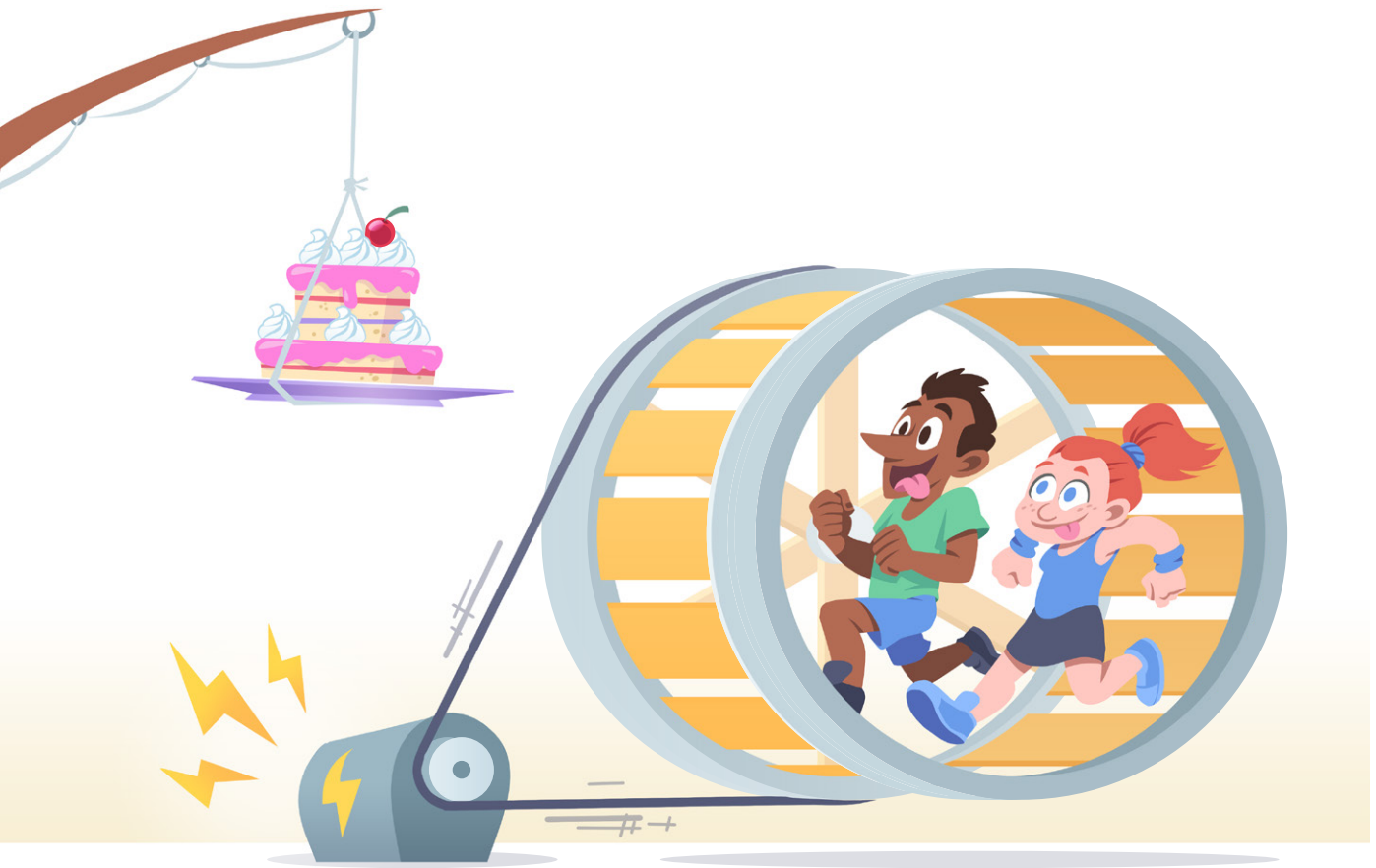
Aan het begin van de kerstvakantie overdenk ik welke keuzes ik maakte in de lessen over energie, en hoe de leerlingen daarop reageerden.

Tien tweedeklassers stonden op een donderdagmiddag na de les, op anderhalve meter voor mijn bureau, door elkaar heen te schreeuwen. Ik vroeg ze hun ideeën en argumenten per e-mail te sturen, omdat klas vijf al binnenkwam. Dat weekeinde kreeg ik tientallen

e-mails. Sommige leerlingen stuurden er vier achter elkaar. De aanleiding was dat ik een taart had uitgelooft voor het beste tegenvoorbeeld bij: “Alle vormen van energie die wij gebruiken, zijn uiteindelijk afkomstig van de zon, de maan of de sterren.”

In de klas had ik windenergie al afgeschoten, omdat eerst de zon lucht moet opwarmen voordat die gaat stijgen, wat verdere luchtstromingen in gang zet. Ze snapten ook dat er eerst water uit de oceanen moet verdampen voordat je neerslag, rivieren en waterkracht hebt. Een beetje gemeen was dat ik

kernenergie afkeurde omdat zware elementen zoals uranium zijn ontstaan in allang geëxplodeerde sterren. En dat ik uitlegde dat aardwarmte uiteindelijk afkomstig is van radioactief verval in het binnenste van de aarde, opnieuw alleen mogelijk doordat radioactieve elementen in sterren zijn ontstaan. Eens, jaren geleden, was ik vergeten de maan te noemen in mijn stelling, zodat ik een taart kwijt was aan ‘eb en vloed’. Maar dat heb ik nu goed uitgesloten. Via de e-mail kwamen heel exotische ideeën binnen. Een jongetje had gevarieerd op de door mij genoemde



hemellichamen en zei: “de energie van de bewegende ringen van Saturnus”. Goed gevonden, maar ik had gezegd “energiesoorten die wij gebruiken.”

Een meisje had het over een filmpje dat ze had gezien over versnellen met elektrische velden, maar ze realiseerde zich niet dat er energie nodig is om die velden op te wekken.

Eigenlijk is deze hele challenge wat mij betreft een oefening met het concept ‘energieomzetting’. Honderden miljoenen jaren geleden leverde de zon de energie voor fotosynthese in planten die nu als fossiele brandstof dienen in een elektriciteitscentrale, waardoor stoom ontstaat die een generator laat draaien wat elektrische energie oplevert. In klas 2 kwamen ook praktische berekeningetjes aan de orde. Hoeveel kost het als je elke dag een half uur heet doucht? Wat is goedkoper, thee zetten met behulp van een fluitketel op het gas of met een elektrische waterkoker? Maatschappelijk relevant was het op een

rijtje zetten van de voor- en nadelen van een stuk of zes manieren van energie opwekken. In sommige jaren, als er tijd is, besteden we een les aan een technisch ontwerp: “maak een autootje dat zo ver mogelijk rijdt met de 1J energie die is opgeslagen in een gespannen muizenval”.

De taart gaat dit jaar naar een beschrijving van kernfusie. Want hoewel ik zou kunnen zeggen dat we die nog niet echt gebruiken of dat het idee wel van de zon komt, het is waar dat de benodigde ingrediënten al sinds de oerknal bestaan. In de bovenbouwklas die binnenkwam na die ‘taartvraagles’ van de tweede, liet ik een jongen een meisje dat op een bureaustoel zat aanduwen. Twee frêle meisjes moesten ‘zorgen dat Magda niet te pletter zou slaan tegen de muur.’ Iedereen zag voor zijn neus geïllustreerd dat het uitmaakte of Floris alleen een enkele duw mocht geven of dat hij een eindje mocht meelopen en blijven duwen.

Dat ik op het bord in $W = F \cdot s$ de tweede wet van Newton invulde en ook de formule $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ die ze al kenden, en daarna met behulp van $v = a \cdot t$ de uitdrukking voor de kinetische energie afleidde, was eigenlijk een theoretische aanpak die verder ging dan vereist is. Dat zei ik er dan ook bij.

Een deel van de klas kon de afleiding wel waarderen. Een groter deel vond het interessanter dat je met energiebehoud kunt uitrekenen hoe hoog een met een gegeven snelheid omhoog geschoten bal komt en dat je kunt begrijpen waarom de stations van de Victorialijn van de Londense metro hoger zijn aangelegd dan de trajecten tussen de stations: zo kun je afremmen zonder wrijvingswarmte te maken.

Hans van Bommel is natuurkundeleraar op een middelbare school. Hij illustreert ontwikkelingen in het onderwijs door te vertellen over wat hij in de klas beleeft.

Stage in Linköping

Zweeds avontuur in de theoretische natuurkunde

Ik mocht als student van Saxion Hogeschool een stage van zes maanden over dichtheidsfunctionaaltheorie uitvoeren aan de universiteit van Linköping in Zweden. Hoewel ik technische natuurkunde studeer en deze opdracht door het sterk theoretische karakter nogal buiten het standaard-curriculum viel, heeft Saxion Hogeschool mij alle ruimte geboden om deze uitdaging aan te gaan.

Onderzoeksgroepen voor vastestoffysica en quantumchemie maken vaak gebruik van dichtheidsfunctionaaltheorie (density-functional theory, DFT). Veel macroscopische eigenschappen van stoffen kunnen vrijwel geheel begrepen worden uit de elektronenstructuur van zo'n stof. Met dichtheidsfunctionaaltheorie kan de elektronendichtheid in de grondtoestand in een bepaalde vaste stof goed beschreven worden. Hierdoor is DFT breed inzetbaar, bijvoorbeeld voor het bestuderen van magnetisch gedrag in verdunde magnetische halfgeleiders of faseovergang in oxiden. De theorie achter DFT is quantummechanisch van aard en is ontwikkeld uit de Schrödingervergelijking voor systemen met meerdere deeltjes [1,2]. De Schrödingervergelijking rechtstreeks oplossen vraagt echter (te) veel rekentijd. Om deze onmogelijk grote berekeningen te omzeilen ontwikkelden Hohenberg en Kohn de dichtheidsfunctionaaltheorie [3], waarvoor laatstgenoemde in 1998 de Nobelprijs voor de Scheikunde kreeg. Een zeer kort overzicht van deze vergelijkingen is gegeven in het kader *Vergelijkingen in dichtheidsfunctionaaltheorie (DFT)*. De laatste differentiaalvergelijking in dit kader, is de differentiaalvergelijking die wordt opgelost in de software. Een centraal begrip voor DFT is de functionaal. Een functionaal is een soort functie die een functie als argument heeft. Een normale functie, $f(x)$ heeft x als argument en geeft de waarde $f(x)$ als output. Een functionaal heeft mogelijk een functie als argument en als output een getal. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een Riemannintegraal, in figuur 2: $f(x)$ is de inputfunctie en als output komt s ; een getal dat de oppervlakte onder de curve weergeeft. In de context van DFT is de inputfunctie de berekende elektronendichtheid en de functionaalen zijn de verschillende termen van de totale energie (zie kader *Vergelijkingen in dichtheidsfunctionaaltheorie (DFT)*). Traditioneel gezien maakt men gebruik van zogeheten orbitalen voor het vinden van de elektronendichtheid in de grondtoestand. Dit wordt

VERGELIJKINGEN IN DICHTHEIDSFUNCTIONAALTHEORIE (DFT)

$$E\Psi = \left[-\sum_i \nabla_i^2 - \sum_{i,A} \frac{Z_A}{|r_i - R_A|} + \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} \frac{1}{|r_i - r_j|} \right] \Psi \quad (1)$$

Vergelijking 1: de Schrödingervergelijking met de Born-Oppenheimerbenadering en herschreven in natuurlijke eenheden, waar alle natuurconstanten gelijk staan aan 1.

$$n = \Psi^* \Psi, \text{ met } \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi|^2 d^3r = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi^* \Psi d^3r = 1 \quad (2)$$

Vergelijking 2: om de elektronendichtheid n te vinden is de golffunctie vermenigvuldigd met zijn complex geconjugeerde.

$$E_0 = E[n_0] = \langle \Psi[n_0] | \hat{T} + \hat{U} + \hat{V} | \Psi[n_0] \rangle \quad (3)$$

Vergelijking 3: grondtoestandsenergie zoals beschreven in de Schrödingervergelijking. Waar n_0 de elektronendichtheid is in de grondtoestand. T , U en V stellen respectievelijk de kinetische energie, de energie uit interactie tussen elektronen en de externe potentiaal voor.

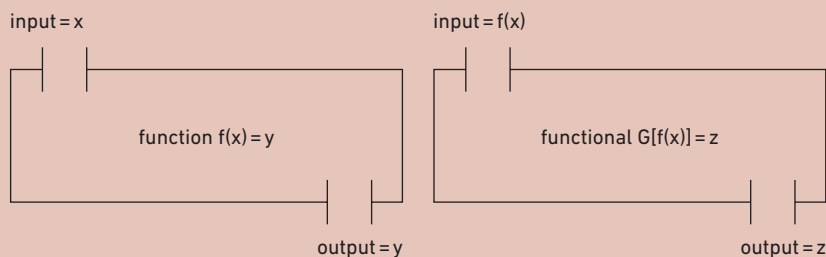
$$E_v[n(r)] = \int v(r)n(r)dr + \frac{1}{2} \int \frac{n(r)n(r')}{|r - r'|} + T_s[n(r)] + E_{xc}[n(r)] \quad (4)$$

Vergelijking 4: grondtoestandsenergie zoals berekend in DFT. Hier zijn $n(r)$ en $v(r)$ respectievelijk de elektronendichtheid en de externe potentiaal. De eerste term representeert V uit de eerdere Schrödingervergelijking. De tweede term van deze vergelijking representeert de energie van de interacties tussen de elektronen, U . $T_s[n(r)]$ is een functionaal die de kinetische energie benadert en $E_{xc}[n(r)]$ is de functionaal die de quantumeigenschappen van het systeem benadert.

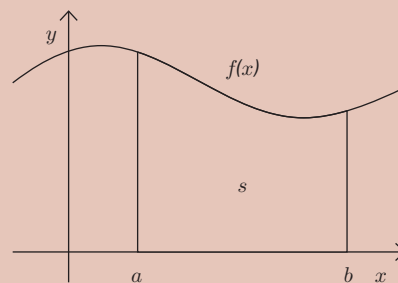
gedaan door de golffunctie uit te drukken als een lineaire combinatie in de basis van 'bekende' golffuncties die berekend worden op deze orbitalen. Er is echter veel rekenkracht nodig om de eigenwaarden van de Hamiltoniaan in zo'n basisset te berekenen.

Het doel van mijn stage was het schrijven van software die de differentiaalvergelijkingen uit DFT oplost zonder zo'n expansie in orbitalen. Deze software noem ik verder de solver. Een orbitaalvrije DFT-solver is theoretisch gezien vele malen sneller, maar bestaande orbitaalvrije DFT-solvers zijn niet nauwkeurig genoeg. Om dit op te lossen worden er steeds gecompliceerdere benaderingen gemaakt voor de theorie. Ik kreeg als concrete opdracht om een orbitaalvrije solver te schrijven die

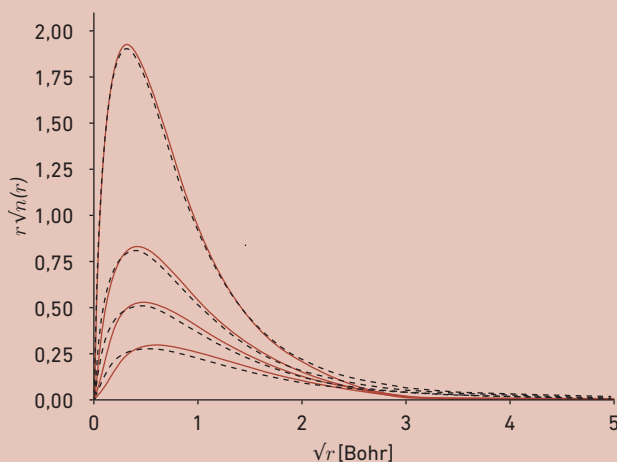
heel makkelijk kan worden uitgebreid in termen van complexiteit van de problemen en nauwkeurigheid. Verder lag de keuze voor de programmeertaal ook op voorhand vast: Python. Deze software is immers vrij te gebruiken en biedt voor dit probleem nog een ander voordeel. Voor het oplossen van de differentiaalvergelijking werd voor een eindige-elementenmethode (finite element method, FEM) gekozen en Python heeft hiervoor een handige softwarebibliotheek ter beschikking; FEniCS [4]. FEniCS is voornamelijk handig bij het maken van een simulatieruimte, het beschrijven van de randvoorwaarden en het berekenen van differentiaalvergelijkingen op de geformuleerde mesh in deze ruimte. Een mesh is een raster waarover de differentiaalvergelijkingen worden berekend. De



Figuur 1. Schematische weergave van een functie vergeleken met een functionaal.



Figuur 2. Schematische weergave van een gebonden Riemannintegraal.



Figuur 3. De elektronendichtheid van He, B, Ne, Kr. Helium geeft hier de laagste dichtheid en krypton de hoogste. De rode lijn is berekend met het Thomas-Fermi-Dirac-Weizsäcker (TFDW)-model en de blauwe lijn met het model met meer complexe functionalen.

	E_0	μ	Chan et al.	W. Stich et al.
He	-2,8184	-0,0700	-2,8184	-2,818
Li	-7,3228	-0,0720	-7,3227	-7,323
Be	-14,4841	-0,0735	-14,4841	-14,484
B	-24,6284	-0,0743	-24,6284	-24,628
C	-38,0332	-0,0746	-38,0332	-38,033
N	-54,9428	-0,0735	-54,9428	-54,943
O	-75,5765	0,0713	-75,5765	-75,577
F	-100,1345	-0,0666	-100,1345	-100,14
Ne	-128,8014	-0,0583	-128,8014	-128,80
Kr	-2726,3180	-0,0550	-	-2744,3

Tabel 1. Een overzicht van de berekende resultaten voor de totale energie in de grondtoestand. Links zijn de waarden die door de ontwikkelde software zijn berekend, μ is hier de chemische potentiaal. Rechts zijn twee gepubliceerde resultaten waarmee de berekeningen zijn vergeleken [5,6].

berekeningen worden gedaan op de knooppunten van dit raster en worden ertussenin geïnterpoleerd. We gebruiken de Newton-iteratiemethode om de vergelijkingen op te lossen. De FEniCS-softwarebibliotheek biedt de mogelijkheid om voor meerdere functies tegelijk oplossingen te berekenen [4]. Het vinden van een convergerende oplossing met een iteratieve methode werkt als volgt. Er moet een initiële 'gok' worden gegeven voor de functies die opgelost worden door de solver. Hieruit wordt, door het oplossen van de differentiaalvergelijkingen, een nieuwe dichtheid berekend, die in de volgende berekeningsstap als nieuwe 'gok'

voor de dichtheid wordt gebruikt. Wanneer het verschil tussen de voorgaande en de nieuw berekende dichtheid klein genoeg is, is de dichtheid naar de oplossing geconvergeerd. Wij hebben de software zo gebruiksvriendelijk mogelijk ontwikkeld, zonder functionaliteit te verliezen. Dit houdt in dat de randvoorwaarden, de details voor de simulatieruimte, de initiële gok voor de functies en de gebruikte functionalen door de gebruiker als input gegeven kunnen worden. Op deze manier is de software in te zetten voor verschillende simulaties en makkelijk over te dragen naar andere projecten. Het project was opgesplitst in verschillende fases. Allereerst heb

ik een solver geschreven die slechts één specifieke differentiaalvergelijking kon oplossen, namelijk een vergelijking waar al een analytische oplossing voor bestaat. Dit om te controleren of de software doet wat hij moet doen. We kozen ervoor om een waterstofatoom te simuleren en alleen de Thomas-Fermibenadering te laten berekenen. De software vond deze analytische oplossing perfect terug. Deze Thomas-Fermibenadering geeft geen accurate resultaten voor verder onderzoek, maar dankzij deze test wisten we dat we op de goede weg waren.

Na deze succesvolle testfase gingen we verder met de softwareontwikke-

ling. Zoals eerder beschreven moeten de gecompliceerdere functionalen, die de orbitaalvrije theorie nauwkeuriger maken door onder andere de interne kinetische energie te benaderen, ook zonder problemen berekend kunnen worden. Dit houdt in dat de software ook moet werken voor zulke nieuw ontwikkelde functionalen en hun specifieke randvoorwaarden. Om de veelzijdigheid van de software te testen gebruikten we de oorspronkelijke Thomas-Fermifunctionaal in combinatie met de Von-Weizsäckerfunctionaal om de kinetische energiecomponent van de berekeningen te benaderen. Om specifieke quantumeffecten zoals het Pauli-uitsluitingsprincipe in rekening te brengen, maakten we gebruik van de Diracfunctionaal. We testten onze software in één dimensie voor één-atoomsystemen van H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne en Kr. Voor al deze systemen is het gelukt om de elektronendichtheid in de grondtoestand te berekenen, deze zijn vergeleken met gepubliceerde data en kwamen goed overeen [5,6]. De berekende totale energie en de vergelijking met de gepubliceerde data is te vinden in tabel 1. De oplossingen convergeren binnen enkele minuten. Om de inzetbaarheid en de nauwkeurigheid van deze software te vergroten is het belangrijk om nieuw ontwikkelde functionalen te testen. Toen we zover waren kwam het einde van de stage in zicht. Het lukte ons om verbeteringen op de Thomas-Fermimodellen te testen en deze te gebruiken tijdens de afronding van de stage, de resultaten hiervan zijn te zien in figuur 3. We hadden nog graag nieuw ontwikkelde benaderingen voor DFT getest en de software uitgebreid met een leuke interface of driedimensionale toepassingen, maar helaas veroorzaakte de coronapandemie vertraging en was dit niet meer mogelijk. Er zaten enkele erg leuke theoretische uitdagingen in het omzeilen van de inherente $1/r$ -afhankelijkheid in sommige functionalen, waar r de afstand is tot de kern van het gesimuleerde atoom. Aangezien we

de software zo gebruiksvriendelijk mogelijk wilden maken, moet deze alle mogelijke nieuwe functionalen kunnen verwerken zonder vast te lopen op singulariteiten. Een andere uitdaging, wellicht iets meer in de richting van het programmeren dan in de natuurkunde, was het omzeilen van negatieve dichtheden, die fysisch geen betekenis hebben en tot numerieke problemen leiden. Het herschrijven van de vergelijkingen naar radiale vergelijkingen zonder het verlies van fysische betekenis heeft ook leuke discussies teweeggebracht. Mijn begeleider stimuleerde mij deze discussies te blijven voeren en om dieper te blijven nadenken over wat de resultaten nou uiteindelijk betekenen. Het hele idee dat er een soort 'pasta' van elektronen binnen een materiaal te beschrijven is die in de grondtoestandenergie niet van dichtheid verandert, maar nog wel een kinetische-energiecomponent in zich heeft, is een bron geweest van vele interessante gesprekken met intrigerende conclusies zonder einde. Tijdens mijn stage is het gelukt om een radiale solver te implementeren. Nu gecompliceerdere functionalen succesvol berekend zijn met deze software is het bewijs geleverd dat hierop verder gebouwd kan worden. De nieuwe software is een bruikbare aanwinst voor de onderzoeksgroep IFM van de universiteit van Linköping en kan al meteen gebruikt worden om nieuw ontwikkelde functionalen snel te testen in één dimensie. De uitbreiding naar meerdere dimensies is de volgende stap. Dit is een relatief kleine stap dankzij de toegankelijkheid van de FEniCS-softwarebibliotheek. Voor het uitbreiden van de simulatieruimte in 3D zal de moeilijkheid liggen in de complexiteit van de nieuwe systemen. Er zullen driedimensionale vormen met mogelijke nieuwe knelpunten zoals hoeken komen. Om dit soort nieuwe problemen voor te zijn is het handig om een smart mesh toe te voegen. Hier wordt de mesh verfijnd op plekken waar zich mogelijke problemen voordoen. De software kan dit zelf aanpassen aan de hand van de grote verschillen in de

waarden van de berekende oplossingen. Deze smart mesh is nog niet volledig functioneel in het systeem. Het aanpassen van de randvoorwaarden is ook relatief toegankelijk gemaakt dankzij deze softwarebibliotheek, relatief omdat de complexiteit van het gesimuleerde systeem bepaalt hoe deze grenscondities zullen worden gedefinieerd. Ik ben begonnen met het implementeren van periodieke grenscondities en de verfijning van een smart mesh. Dit heb ik helaas niet kunnen voltooien voor het einde van de stage.

De pandemie heeft het internationale aspect van de stage zeker beïnvloed, aangezien Saxion mij al na drie maanden officieel verzocht om naar Nederland terug te keren. Desondanks was de stage een groot succes. Ik heb de stage thuis af kunnen maken, met onlinebegeleiding. Mijn begeleider Rickard Armiento was erg behulpzaam en inspirerend. De omslag naar thuis werken en online-bijeenkomsten heeft mijn motivatie niet verminderd en met hard doorwerken heb ik de stage in zes maanden tot een mooi einde gebracht. De praatjes rond het koffieapparaat en de leuke discussies over de natuurkundige concepten miste ik wel. Desondanks is het een erg lonende ervaring geweest om een internationale stage uit te voeren. Hoewel ik technische natuurkunde studeer, heb ik toch een stageopdracht in theoretische natuurkunde mogen uitvoeren. Dit waardeer ik zeer, aangezien het mijn ambitie is om in de theoretische natuurkunde verder te gaan.

REFERENTIES

- 1 M.H.N. Assadi et al., Theoretical study on copper's energetics and magnetism in TiO₂ polymorphs, *Journal of Applied Physics*, **113**, 233913 (2013).
- 2 M.D. Segall et al., First-principles simulation: ideas, illustrations and the CASTEP code, *Journal of Physics: Condensed Matter* **14** (11), 2717 (2002).
- 3 P. Hohenberg en W. Kohn, Inhomogeneous electron gas, *Physical Review* **136**, B864 (1964).
- 4 M.S. Alnaes et al., The FEniCS Project Version 1.5, *Archive of Numerical Software*, volume 3 (2015).
- 5 W. Stich et al., Accurate solution of the Thomas-Fermi-Dirac-Weizsäcker variational equations for the case of neutral atoms and positive ions, *Zeitschrift für Physik A Atoms and Nuclei* **309**, 5-11 (1982).
- 6 Garnet Kin-Lic Chan et al., Thomas-Fermi-Dirac-von Weizsäcker models in finite systems, *Journal of Chemical Physics* **114**, 631 (2001).

Als NNV willen we in dit feestelijke jaar 2021 een erfenis nalaten in de vorm van een dichterlijke beschrijving van de deeltjes van het standaardmodel. We zijn hierbij geïnspireerd door het periodiek systeem in haiku: <https://vis.sciencemag.org/chemhaiku>. Dit bracht ons op het idee om een poëziewedstrijd te organiseren.

Deeltjes in dichtvorm vangen, dat is een mooie activiteit voor rond de feestdagen. Daarom bij deze de oproep om de inspiratie los te laten op één of meer van de 17 deeltjes van het standaardmodel: up, down, elektron neutrino, elektron, charm, strange, muon neutrino, muon, top, bottom, tau neutrino, tau, foton, W-boson, Z-boson, gluon, higgsdeeltje.

Dicht een deeltje!

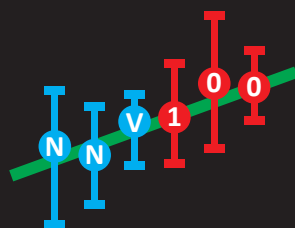
H e t s t a n d a a r d m o d e l i n p o e z i e

De winnende gedichten vormen gezamenlijk het standaardmodel in poëzie en zullen worden gepubliceerd zowel in het Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde als online. Het wedstrijdreglement is te vinden via www.nnv.nl/Dichtwedstrijd, hier is ook het wedstrijdformulier te downloaden.

De dichtvorm is vrij, een gedicht bestaat uit maximaal 8 regels en de gebruikte taal is Nederlands. Wie dicht de mooiste omschrijving of beschrijving van een deeltje in haiku, elfje, limerick, rondeel, ollekebolleke,?

Indienen kan tot en met 2 april 2021, de dag waarop de NNV op de kop af 100 jaar bestaat. Daarna gaat de jury, waaronder ook Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft, aan de slag om de winnende gedichten te selecteren.

We zien uit naar de verschillende bijdragen!



NNV-NIEUWS

Directeur Noortje de Graaf vertelt wat er speelt binnen de vereniging

Nieuw: digitale nieuwsbrief NNV

De NNV heeft een extra manier van communiceren in stelling gebracht: de digitale nieuwsbrief. Op 24 december werd de eerste editie naar NNV-leden gestuurd, deze stond vol nieuwtjes over onder andere het feestjaar 2021. De nieuwsbrief werd buitengewoon veel geopend en we hopen de NNV-leden en relaties er een plezier mee te doen. De nieuwsbrief zal maximaal tien maal per jaar verschijnen. Direct na de kerstvakantie hebben we ook een digitale nieuwsbrief naar natuurkundesecties van scholen gestuurd met educatief NNV-nieuws. Deze nieuwsbrief is ook nieuw en verschijnt jaarlijks maximaal vier maal. Voor wie de nieuwsbrieven nog niet gelezen heeft, ze zijn hier in te zien: www.nnv.nl/NNV_digitale_nieuwsbrieven.



Natuurkunde.nl is vernieuwd

Natuurkunde.nl heeft een nieuw jasje gekregen. Deze educatieve website had het afgelopen jaar meer dan 1,3 miljoen (!) unieke bezoekers, voor een groot deel leerlingen en docenten uit het voortgezet onderwijs. Na zes jaar was het tijd voor een opfrisbeurt om ook voor nieuwe generaties leerlingen aansprekend te zijn. Naast een nieuw uiterlijk is de site ook beter geschikt gemaakt voor gebruik op smartphones, een eerste vereiste tegenwoordig. Wat blijft is natuurlijk het grote aanbod aan oefenopgaven, examenopgaven, artikelen, filmpjes en applets. En niet te vergeten de vraagbaak. Neem ook een kijkje!

Natuurkunde.nl is rond het jaar 2000 ontstaan op initiatief van de NNV, de website wordt breed gesteund

door het hele natuurkundeveld in Nederland. Deze gezamenlijke inspanningen leveren een unieke website op, die een belangrijke rol speelt in de informatievoorziening over het vak natuurkunde.

Voorzittersverkiezing en check e-mailadres NNV-leden

Gedurende heel februari 2021 kunnen NNV-leden hun stem uitbrengen op de toekomstige NNV-voorzitter. Elders in dit nummer vindt u interviews met alle drie de kandidaten. In de week van 18 januari 2021 hebben wij alle leden een e-mail gestuurd met informatie over de voorzittersverkiezing en het inloggen op www.nnv.nl. Dit in verband met het uitbrengen van uw digitale stem voor de nieuwe (vice-)voorzitter. Mocht u deze e-mail niet hebben ontvangen, betekent het dat wij niet over uw juiste e-mailadres beschikken. Zou u in dat geval uw e-mailadres door willen geven via bureau@nnv.nl? Wanneer wij het juiste emailadres hebben, kunnen wij u per mail een uitnodiging sturen om uw stem uit te brengen op een van de kandidaatvoorzitters in februari 2021.

Aanmelden voor alv op 1 april

Op 1 april vindt de algemene ledenvergadering van de NNV 's avonds plaats via Zoom. Een bijzondere avond, omdat de volgende dag de vereniging daadwerkelijk honderd jaar bestaat. Leden die willen participeren, krijgen inloggegevens zodat ze deel kunnen nemen aan de online-alv. Meldt u alstublieft aan door een e-mail te sturen aan bureau@nnv.nl.

Gastles in de klas

Op 11 februari is de International Day of Women and Girls in Science. In het kader van het jubileumjaar van de NNV koppelen we wetenschappers en klassen aan elkaar voor een onlinegastles over uiteenlopende onderwerpen zoals bijvoorbeeld sterrenkunde, *quantum fractals*, deeltjesfysica, zwaartekrachtgolven en de energietransitie. Inmiddels kunnen al honderden leerlingen uitkijken naar een vrouwelijke fysicus in de klas.

16 April

FYSICA 2021

Celebration Centennial NNV

online event

Daniel Bonn
(Physica Prize 2021)



University of Amsterdam

Reinhard Genzel
(Nobel Prize 2020)

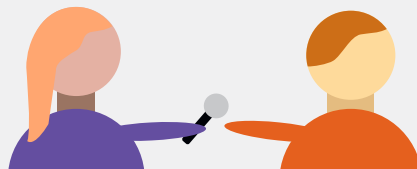


Max Planck Institute for
Extraterrestrial Physics

Young Speakers Contest



Dutch Physics Relay



www.fysica.nl

