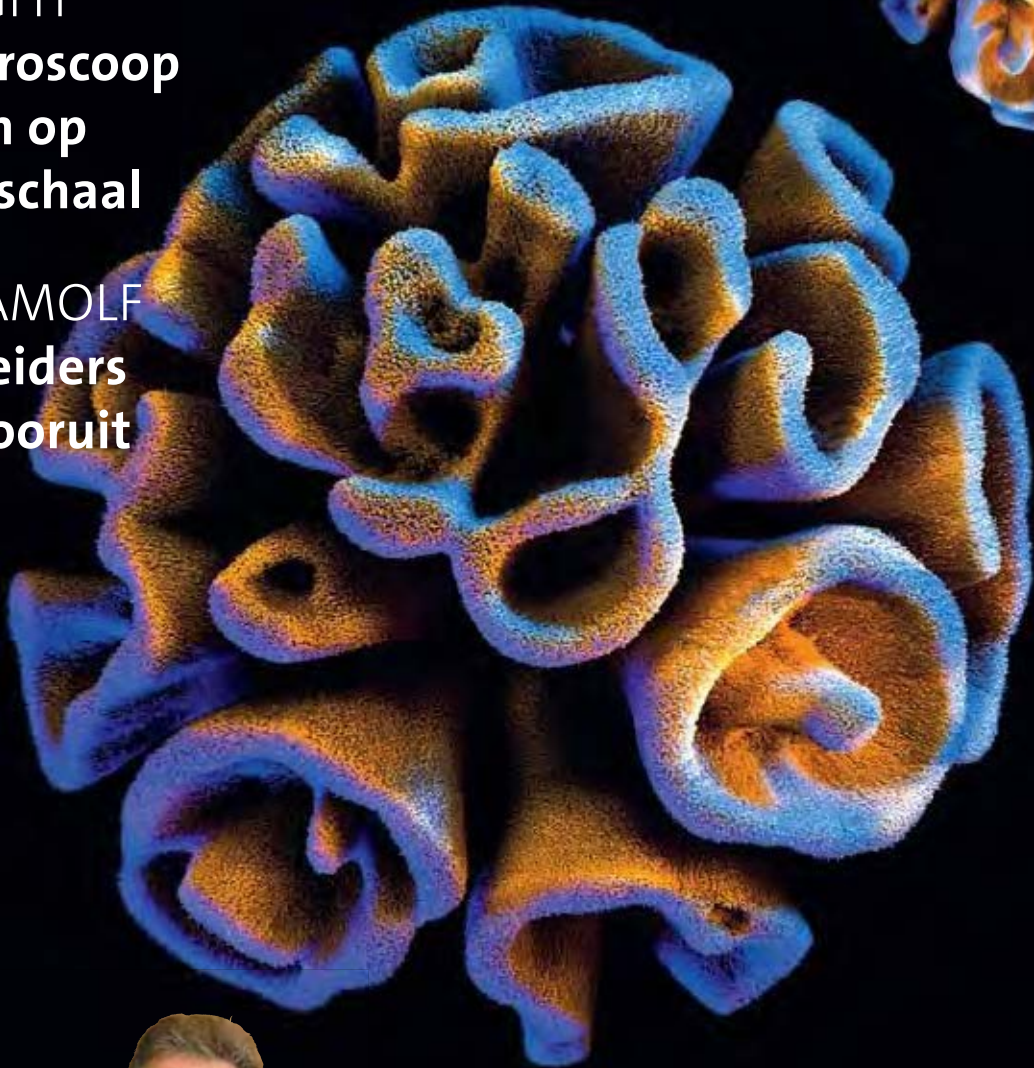


AMOLF NEWS

HIGHLIGHT
**Met microscoop
schrijven op
de nanoschaal**

70 jaar AMOLF
**Groepsleiders
kijken vooruit**



Hans Zeijlemaker en Duncan Verheijde:

“Technici zijn
duizendpoten”

AMOLF

Microstructuur van bariumcarbonaat en silica (kiezelaarde). Onderzoekers in de groep Self-Organizing Matter kunnen de vorm en chemische samenstelling van de structuur aanpassen. Dit kan leiden tot nieuwe functionele materialen.

(Structuur Lukas Helmbrecht, AMOLF, foto en beeldbewerking S. Diller - Scientific Photography, Wuerzburg)



AMOLF NEWS



AMOLF NEWS

AMOLF NEWS verschijnt twee keer per jaar en is bedoeld voor collega's, samenwerkingspartners, beleidsmakers en alumni van AMOLF.

Indien u dit magazine niet langer wenst te ontvangen dan kunt u ons dit melden via e-mail: info@amolf.nl of via telefoonnummer 020-7547100. Uw gegevens zullen dan worden verwijderd van de betreffende lijst van relaties aan wie wij twee maal per jaar NEWS versturen.

COLOFON

Redactie:

Erny Lammers,
Petra Rodriguez,
Anita van Stel

Vormgeving:

www.petraklerkx.nl

Foto cover:

Lukas Helmbrecht

Druk:

Drukkerij Badoux,
Houten

Correspondentieadres:

Postbus 41883
1009 DB Amsterdam
E-mail: info@amolf.nl
Telefoon: +31 (0)20 75 47 100

AMOLF in het kort

AMOLF richt zich op het initiëren en uitvoeren van toonaangevend fundamenteel onderzoek aan de fysica van natuurlijke en niet-natuurlijke complexe materie en het maken van nieuwe functionele materialen, in samenwerking met universiteiten en industrie. Deze kennis draagt bij aan het oplossen van maatschappelijke vraagstukken op het gebied van energie, groene ICT en gezondheidszorg.

Op AMOLF werken circa 130 wetenschappers in 17 onderzoeksgroepen. Daarnaast kent het instituut 70 medewerkers in technische en administratieve ondersteunende afdelingen. Het instituut is gevestigd in het Amsterdam Science Park.

AMOLF is onderdeel van de institutenorganisatie van NWO.

AMOLF physics of
functional complex matter



Foto: Lukas Helmbrecht

Inhoud

INTERVIEWS

- 8 **Future loading**
Vier groepsleiders over de toekomst
- 18 **Technici zijn duizendpoten**
Hans Zeijlemaker en
Duncan Verheijde kijken terug
- 24 **Cum laude promotie van Mario Avellaneda Sarrió**

HIGHLIGHTS

- 14 **Met microscoop schrijven op de nanoschaal**
- 22 **Slimme rekenmethode verkent het gedrag van verrassende bouwwerken**

NIEUWS

- 4 **ERC Starting Grant voor Said Rodriguez**
- 12 **AMOLF maakt werk van datamanagement**
- 20 **Centre-to-Centre samenwerking met Cambridge**

VERDER

- 5 **Het jubileumjaar**
- 7 **AMOLF alumni: wat doen ze nu?**
- 28 **Proefschriften**

Voorwoord

Vorig jaar was een jubileumjaar voor AMOLF. We zijn op 15 september 1949 opgericht, toen nog als FOM laboratorium voor massaspectrografie, met Jaap Kistemaker als onze eerste directeur. AMOLF bestaat nu dus 70 jaar en dat hebben we uitgebreid gevierd met onder andere een uitje met alle medewerkers en een wetenschappelijk symposium met vele vrienden, collega's en oud-medewerkers. Het was leuk om met iedereen herinneringen uit de bewogen geschiedenis van AMOLF op te halen. Ongelooflijk hoeveel er in 70 jaar is gebeurd en veranderd! In het kader van ons jubileum organiseren we ook een serie speciale colloquia door voormalige onderzoekers van AMOLF, waarin zij vertellen over hun huidige werk. In deze NEWS vindt u een korte beschrijving van een aantal van hen en hoe ze op hun tijd op AMOLF terugkijken.

We staan nu aan het begin van een nieuw decennium waarin ongetwijfeld vele bijzondere en belangrijke wetenschappelijke ontdekkingen zullen plaatsvinden. In combinatie met ons jubileum geeft dat aanleiding voor bezinning. In deze NEWS kunt u lezen hoe vier jonge groepsleiders naar de toekomst kijken. Een terugblik op de geschiedenis maakt ook duidelijk hoe belangrijk de bijdragen van de techniek en hooggekwalificeerde technici aan het onderzoek van AMOLF zijn geweest. Hans Zeijlemaker en Duncan Verheijde, beiden zeer ervaren technici, vertellen over de enorme ontwikkelingen in de techniek in de afgelopen decennia.

In deze NEWS vindt u verder een artikel over een nieuwe methode van de Soft Robotic Matter groep van Bas Overvelde om alle realisaties van complexe driedimensionale structuren te kunnen doorrekenen. Tot slot wil ik u graag attenderen op een interessant artikel over recent werk van de groep van Esther Alarcón Lladó. Zij is er in geslaagd om met een atoomkrachtmicroscoop elektrochemische structuren van nanometer afmetingen te schrijven. Dit zijn twee voorbeelden van spannende, nieuwe natuurkunde die 70 jaar geleden nog ondenkbaar was!

Ik wens u een goed en gezond 2020, en uiteraard veel leesplezier met deze AMOLF NEWS!

Huib Bakker
Directeur AMOLF



AMOLF
70

Foto: Mark Knight

Veni's voor AMOLF postdocs

Sven Askes (Nanoscale Solar Cells) en Eline Hutter (Hybrid Solar Cells) ontvingen in de zomer van 2019 een Veni-subsidie van NWO om hun onderzoeksplannen uit te voeren.



Foto's: AMOLF

Eline Hutter gaat de financiering gebruiken voor onderzoek naar de halfgeleider van de toekomst. Metaalhalide perovskieten zullen naar verwachting verschillende toepassingen van commerciële halfgeleiders overnemen, zoals zonnecellen, röntgendetectoren en ledlampen. Er heerst echter onduidelijkheid over een aantal eigenschappen van deze perovskieten, die cruciaal zijn voor het optimaliseren van bovengenoemde toepassingen. Hutter werkt aan een experiment om deze eigenschappen te ontrafelen. Ze gaat het onderzoek uitvoeren aan de Universiteit Utrecht waar ze de gelegenheid krijgt een nieuwe onderzoeksgroep op te zetten.

Sven Askes gaat hoogenergetische 'hete' elektronen inzetten voor het verhitten en vernietigen van kankercellen. De 'hete' elektronen ontstaan bijvoorbeeld door gouden nanodeeltjes te bestralen met rood licht. Askes wil andere veelbelovende materialen (zirkonium nitride en hafnium nitride) gaan gebruiken die naar verwachting meer 'hete' elektronen zullen opleveren. Het onderzoek wordt uitgevoerd bij AMOLF in de groep van Erik Garnett.



Veni is een financieringsinstrument uit het NWO-Talentprogramma. Het geeft pas gepromoveerde onderzoekers de kans om gedurende drie jaar hun ideeën uit te voeren en verder te ontwikkelen.

Vaste aanstelling voor Wim Noorduin

Groepsleider Wim Noorduin (Self-Organizing Matter) kreeg afgelopen najaar goed nieuws. De tenure track groepsleider kreeg een vaste aanstelling als wetenschappelijk groepsleider. Dit betekent dat hij de ruimte krijgt om zijn onderzoek op AMOLF voort te zetten en verder uit te bouwen.



Foto: Lukas Heimbrecht

ERC Starting Grant voor Said Rodriguez



Credits: Henk-Jan Boluijt

Groepsleider Said Rodriguez (Interacting Photons) ontving van de Europese Onderzoeksraad (ERC) een Starting Grant ter waarde van 1,5 miljoen euro. Met het project Strongly CORrelated Polaritons In Optoelectronic Nanostructures (SCORPION) onderzoekt Rodriguez faseovergangen die optreden als

licht en materie sterk gekoppeld zijn. In de natuur zijn veel voorbeelden van fascinerende faseovergangen te vinden, zoals water dat kan koken, bevriezen en condenseren. Rodriguez richt zich op faseovergangen die optreden voor licht en materie tegelijkertijd, waarbij ze door opsluiting in een kleine trilhaal van spiegels sterk met elkaar wisselwerken. Het project kent twee ambitieuze doelen op de lange termijn. Een eerste doel is om met behulp van fotonen een systeem te creëren wat spontane magnetisatie laat zien,

zoals optreedt in sommige materialen bij lage temperaturen. Zo'n *fotonische quantum simulator* die geheel met licht geprogrammeerd en uitgelezen wordt, kan vervolgens niet alleen lastige vraagstukken in de natuurkunde simuleren, maar ook extreem moeilijke wiskundige optimalisatieproblemen oplossen. Het tweede doel is om de transport-eigenschappen van elektronen in materialen te verbeteren door ze te koppelen aan licht. Een belangrijke beoogde doorbraak is het realiseren van supergeleiding bij hoge temperatuur, geïnduceerd door licht.

Het jubileumjaar

Op 15 september 2019 bestond AMOLF 70 jaar. Zowel vooraf als achteraf werd uitgebreid stilgestaan bij dit jubileum. De AMOLF collega's vierden feest op 6 september. Bij binnenkomst werd iedereen verrast met een groene koffiebekker met daarop het AMOLF70 logo en de eigen naam. In de hal waren delen van instrumenten opgesteld uit de beginjaren van AMOLF, waaronder een ionenbron: de golvende Mae West opstelling die haar naam dankt aan de filmster uit de jaren 50. Onderzoekers in stofjas en met pijp in de hand gaven uitleg over het verrijken van uranium en - alsof er geen 70 jaar was verstreken - ontstond er gelijk een levendige wetenschappelijke discussie over atomair onderzoek. Na een terugblik van directeur Huib Bakker op 70 jaar AMOLF tijdens de koffiepauze (de kenmerkende AMOLF-traditie die ooit in het leven geroepen is door Jaap Kistemaker) vertrokken alle AMOLF-ers in bussen voor een uitje naar Fort Uitermeer.

Op vrijdag 22 november organiseerde AMOLF het symposium *The Future Matter(s)* met sprekers die een leidende rol vervullen binnen het gebied van onderzoek naar functionele, complexe materie. Met een rijk programma vol wetenschappelijke highlights en rondleidingen in de laboratoria, vierde AMOLF zo haar jubileum samen met vrienden en samenwerkingspartners. →



Ook de alumni mochten niet ontbreken en drie alumni met een opmerkelijke carrière verzorgden een maandagochtendcolloquium: Katrien Keune, Liesbeth Mol en Mirjam Leunissen deden hun verhaal over respectievelijk de restauratie van schilderijen waaronder de Nachtwacht, over de uitgeverwereld en de journalistiek. Begin 2020 staan Bart Broers, Merel Leistikow en Wiet de Ronde op het programma.

In januari kwamen de gepensioneerde oud-medewerkers naar AMOLF voor de nieuwjaarsborrel die ook in het teken stond van 70 jaar AMOLF.



Het begin

In 1949 is Nederland bezig met de wederopbouw. Nederland is zijn vooraanstaande positie in de natuurkunde kwijtgeraakt en op het nieuwe gebied van de kernfysica is een inhaaloperatie gewenst. Er lag een duidelijke opdracht voor het nieuwe FOM-laboratorium voor Massaspectrografie (nu AMOLF): onderzoek hoe uranumisotopen het beste kunnen worden gescheiden.

In de beginjaren bouwden onderzoekers en technici daarvoor een grote elektromagnetische isotopenseparator en in 1953 is er succes: het eerste monster (10 mg) verrijkt ^{235}U is een feit. Door

de Nederlandse ontwikkeling besluit het Amerikaanse congres in 1955 tot 'declassificatie' van de elektromagnetische scheidingstechnologie van uranium. Dit heeft tot gevolg dat uranium en andere radio-isotopen beschikbaar komen voor onderzoek en voor medische toepassingen.

Een naam die voor altijd verbonden zal zijn aan AMOLF is die van Jaap Kistemaker. Als eerste en langzittende directeur van het instituut (van 1949 tot 1982) verlegde hij geregeld de koers van het instituut om nieuwe onderzoeksthema's op te kunnen pakken.

Florentina Rosca Pruna

Promotie in 2002 in de Extreme-Ultra Violet Physics groep van Marc Vrakking.

Werkt nu in het onderwijs, als natuurkundeleraar op de internationale afdeling (International Baccalaureate) van het Rijnlands Lyceum Oegstgeest.

Is er verband met promotiewerk? "Ik ben elke dag met natuurkunde bezig. Zoals het praktische deel van het curriculum ontwikkelen en leerlingen leren om zelf experimenten te bedenken en hierover goede verslagen te schrijven voor bijvoorbeeld hun profielwerkstuk. Minder leuk is de administratieve kant van het leraarschap, maar ook hier komen op AMOLF geleerde *skills* van pas, zoals vooruit plannen en duidelijk communiceren."

Als je aan AMOLF denkt, waar denk je dan aan? "Aan hard werken, soms tot laat in de avond/nacht; aan alle aardige mensen, ook van de ondersteunende afdelingen, die mij op weg hebben geholpen, en aan de gezellige pauzes."



AMOLF alumni

Wat doen ze nu?



Mirjam Leunissen

Promotie in 2007 bij de Soft Condensed Matter groep van Alfons van Blaaderen (Universiteit Utrecht). Leunissen leidde van 2011 tot 2014 de Supramolecular Interactions groep op AMOLF.

Werkt nu als datajournalist en data-visualisator voor de Volkskrant en als freelancer in eigen bedrijf Dutch Data Design. Leunissen zoekt naar het verhaal in allerlei data en maakt interactieve visualisaties over journalistieke en maatschappelijke onderwerpen.

Is er verband met promotiewerk? "Ik gebruik nog steeds mijn data-analyse en programmeervaardigheden en maak ook nog weleens een computersimulatie, bijvoorbeeld van de verspreiding van infectieziekten om het belang van vaccinatie uit te leggen."

Als je aan AMOLF denkt, waar denk je dan aan? "De kleur groen, haha! En aan een groep heel gedreven mensen met een geweldige onderzoeksinfrastructuur. Maar ook aan te veel overleggen en lezingen..."

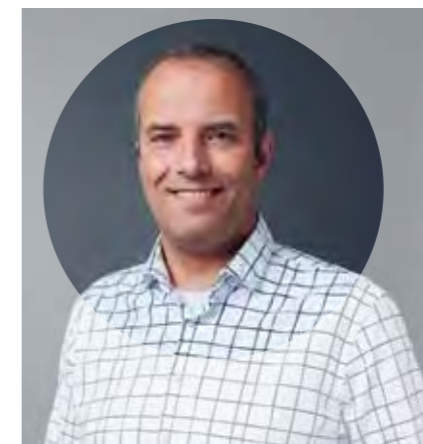
Paul Wessels

Promotie in 2002 in de Computational Physics groep van Daan Frenkel, met Bela Mulder als copromotor.

Werkt nu als Hoofd Financieel Risicomanagement bij De Nederlandse Bank (DNB) en is verantwoordelijk voor de risico's met betrekking tot de balans en de jaarwinst van DNB.

Is er verband met promotiewerk? "Mijn team bestaat uit analytische mensen en we gebruiken wiskundige modellen. We doen ook enig onderzoek. De analytische achtergrond vanuit mijn promotie helpt enorm hierbij. Inhoudelijk is er natuurlijk een beperkt raakvlak."

Als je aan AMOLF denkt, waar denk je dan aan? "Een prachtig instituut met hoogwaardig onderzoek, leuke internationale mensen en een plezierige sfeer."



Bart Broers

Promotie in 1994 in de Laser Physics groep van Ben van Linden van den Heuvel.

Werkt nu bij de Autoriteit Consument & Markt. Als directeur Zorg leidt Broers de afdeling die verantwoordelijk is voor het markttoezicht op de zorgsector in Nederland. Het maatschappelijke belang van gezondheidszorg, de 100 miljard omvang van de markten en de communicatieve spanning in het begrip 'zorgmarkt' maken zijn baan 'prachtig en uitdagend'.

Is er verband met promotiewerk? "Enkele blijvende inzichten uit mijn AMOLF-tijd zijn de waarde van multidisciplinariteit, van een kritische onderzoekende houding, en het belang van voortdurend vernieuwen om relevant te blijven. En ook, zeker in het huidige tijdsgewricht: laat feiten en resultaten spreken; besteed aandacht aan de verpakking, maar *content* blijft *king*."

Als je aan AMOLF denkt, waar denk je dan aan? "Een bijzonder inspirerende omgeving, door gebouw, focus, verandervermogen en vooral de mensen. Een sprankelende plek waar kleine wonder-tjes worden verricht. Samen gedreven op zoek gaan naar nieuwe kennis en een voorrecht om als promovendus je zo ondersteund te voelen door zeer deskundige collega's."

Future loading

INTERVIEW

Vier groepsleiders werpen een blik op de toekomst



Ik verwacht over tien jaar supergeleiders en analoge computers gestuurd door licht te zien.

Said Rodriguez
Interacting Photons



Mijn onderzoek is nu nog erg fundamenteel, maar over twintig jaar zie ik wel toepassingen in de kliniek.

Kristina Ganziger
Physics of Cellular Interactions



Over tien jaar zullen er zeker efficiënte zonnecellen zijn op basis van nanostructuren.

Esther Alarcón Lladó
3D Photovoltaics



Binnen vijf jaar willen we het eerste kunstmatige *soft heart* in een schaap of een geit kunnen testen.

Bas Overvelde
Soft Robotic Matter

Bij de mijlpaal van zeventig jaar AMOLF kijken we niet alleen terug, maar ook vooruit.

Wat verwachten AMOLF's jonge, ambitieuze groepsleiders van de toekomst? Een gesprek over nieuwe natuurkunde en de mogelijke toepassingen: betere medicijnen, efficiënte zonnecellen, een kunstmatig hart en een nieuw soort quantumcomputer.

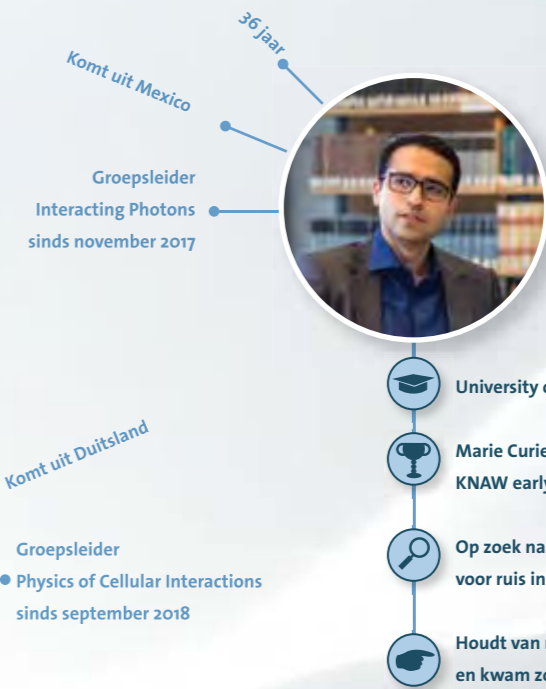
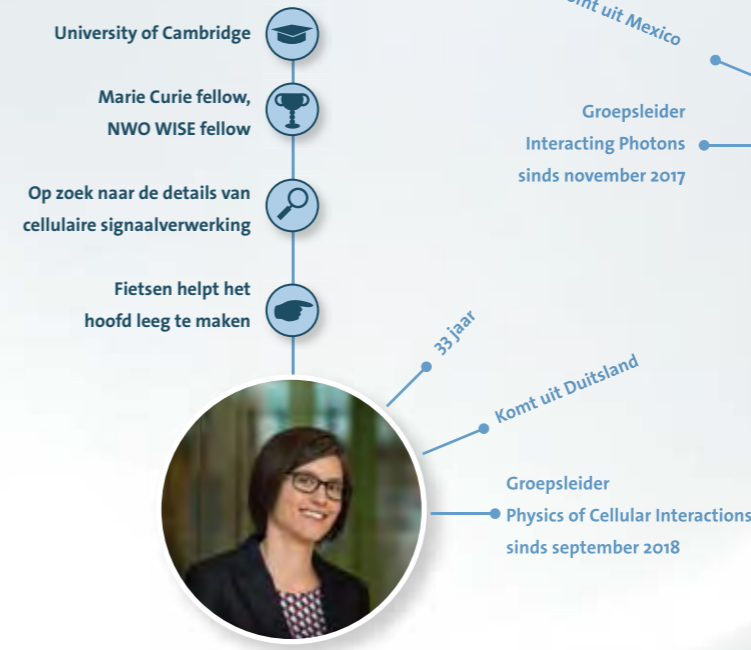
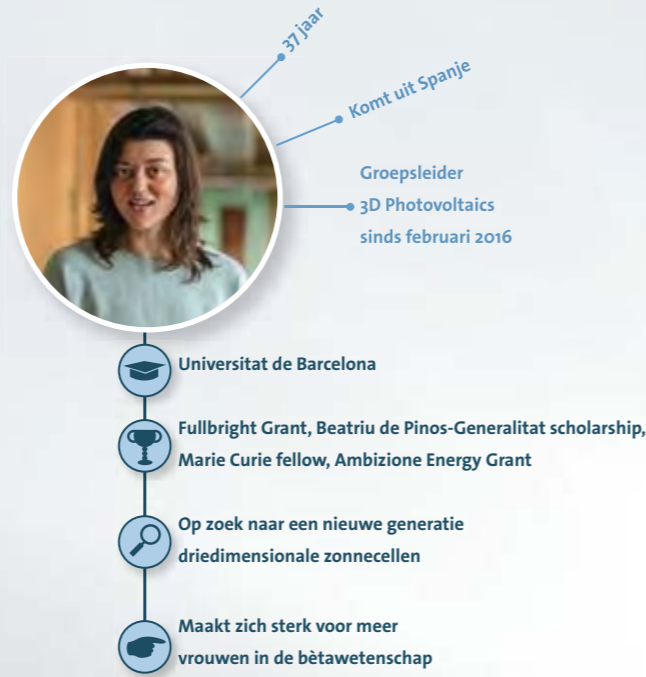
Tekst: Harm Ikink • foto's: Lukas Helmbrecht

Ze zijn geïnspireerd door mogelijke toepassingen, dat is een belangrijke overeenkomst tussen de vier jonge wetenschappers. Vooruit kijken betekent dan ook voorspellen waar hun onderzoek toe zal leiden, welke toepassingen er in het verschiet liggen. Maar daarover later meer. Eerst de vraag:

Wat zijn de vragen waar je een antwoord op zoekt? Wat probeer je te bereiken in je onderzoek?

Kristina: Ik probeer te begrijpen hoe cellen signalen onderscheiden, vooral signalen waarbij hetzelfde boodschappermolecuul een rol speelt. Daarnaast wil

ik 'bottom-up' een synthetisch cellulair systeem maken waarvan we de details begrijpen en onder controle hebben. Ik hoop over een jaar of vijf zover te zijn dat we daar reproduceerbaar experimenten mee kunnen doen. En dat we ondertussen echt iets geleerd hebben over cellulaire communicatie.



→ **Esther:** Ik ontwikkel nieuwe, op nanostructuren gebaseerde conversiemethoden om zonne-energie om te zetten in elektrische of chemische energie. Ik wil de principes begrijpen die er aan ten grondslag liggen, en nieuwe functionaliteiten realiseren. De nanostructuren die dat kunnen probeer ik met elektrochemie te maken, als een soort nano-3D-print. Dat lukt al, maar we begrijpen nog niet precies hoe – op de nanoschaal krijg je met andere mechanismen te maken dan op macroscopische schaal.

Said: Ik bestudeer hoe we interacties tussen fotonen kunnen realiseren en hoe we die interacties kunnen manipuleren. Daarvoor ontwikkelen we systemen die in principe bestaan uit twee spiegels met een niet-lineair optisch materiaal ertussen. We bestuderen de natuurkundige fenomenen die daar een rol spelen en proberen die te benutten in op licht gebaseerde, analoge computers. Maar we zien ook mogelijkheden om materiaaleigenschappen te veranderen met behulp van licht-materiaal interactie.

Bas: Bij mij draait alles om materialen die in staat zijn zich autonoom aan te passen aan - en zelfs gebruik te maken van - vari-

aties in hun omgeving. Denk bijvoorbeeld aan materialen die een hele gerichte vervorming vertonen als je ze activeert, bijvoorbeeld door er in te knijpen. Het fundamenteel onderzoek dat we doen in onze groep is gedreven door nieuwe toepassingen, bijvoorbeeld in de zachte robotica.

Bij AMOLF draait het om de natuurkunde achter functionele complexe systemen, en daarvan is bij deze onderwerpen zeker sprake. Maar is er méér dat het kwartet onderzoekers bindt? Zijn er raakvlakken in jullie onderzoek? Is er een gemeenschappelijke benadering herkenbaar in jullie werk?

Said: In praktische zin doen we natuurlijk allemaal ons eigen onderzoek. Maar er is veel contact waar het gaat om de achterliggende ideeën, en ik zie ook wel een bepaalde mate van overlap. Bas en ik werken bijvoorbeeld allebei aan dynamische systemen die zich kenmerken door niet-lineariteit en informatieverwerking. Ik doe dat optisch, Bas doet het mechanisch. En bij Kristina draait het natuurlijk ook om verwerking van informatie.

Bas: Ik zie een trend waarbij men vanuit de materiaalwetenschappen en een diverse interdisciplinaire community bezig is om materialen van een inherente intelligentie te voorzien. Die uit zich vervolgens in hoe het materiaal zich gedraagt. Bij mij is dat mechanisch, bij Said en Esther is dat fotonisch, en bij Kristina biologisch.

Esther: Ook in de manier waarop we werken zie ik wel overeenkomsten. Stap-voor-stap, bottom-up, waarbij je vanuit de basisbegrippen tot werkende systemen wilt komen. Als je die volledig weet te doorgronden, dan kun je grenzen verleggen.

Kristina: Ik denk dat dit ook een heel erg 'natuurkundige' aanpak is: goed gedefinieerde elementen bij elkaar brengen, het geheel proberen te begrijpen, en dat dan steeds complexer maken. Ik zou het trouwens wel geweldig vinden als dat ook voor biologische systemen gaat werken: dat onze minimale synthetische cel op specifieke aspecten beter functioneert dan het origineel.

De vraag dient zich dan aan wat de onderzoeksresultaten praktisch gezien gaan betekenen. Welke toepassingen liggen er in het verschiet? Welke vruchten plukt de maatschappij over 5, 10 of 20 jaar van jullie onderzoek?

Kristina: Als we weten hoe de cel onderscheid maakt tussen verschillende signalen die via hetzelfde molecuul worden overgedragen, dan hebben we een geweldig startpunt voor de verbetering van immuuntherapie. Die therapie kan aandoeningen genezen waar we tot nu toe geen antwoord op hadden, zoals bepaalde typen kanker. Voorlopig is mijn onderzoek nog erg fundamenteel, maar je weet nooit hoe snel het kan gaan. Op een tijdschaal van twintig jaar zie ik zeker toepassingen in de kliniek. Praat je over tien jaar, dan hebben we hier misschien al projecten waar we zelf aan valorisatie werken.

Esther: Ik vind het echt heel lastig te zeggen hoe ver ik met mijn eigen onderzoek in de komende vijf jaar zal komen. De tijd gaat zo enorm snel! Maar ik ben er wel van overtuigd dat we op dit gebied binnen tien jaar precies in kaart hebben ge-

bracht wat er aan de hand is. Het belang van conversie en opslag van energie is zo groot! Dan zullen er zeker efficiënte zonnecellen zijn op basis van nanostructuren. We passen onze kennis nu al toe in een nieuw proces om transparante nanodraad-elektroden te vervaardigen. Dat zou over vijf tot tien jaar wel eens een patent kunnen opleveren.

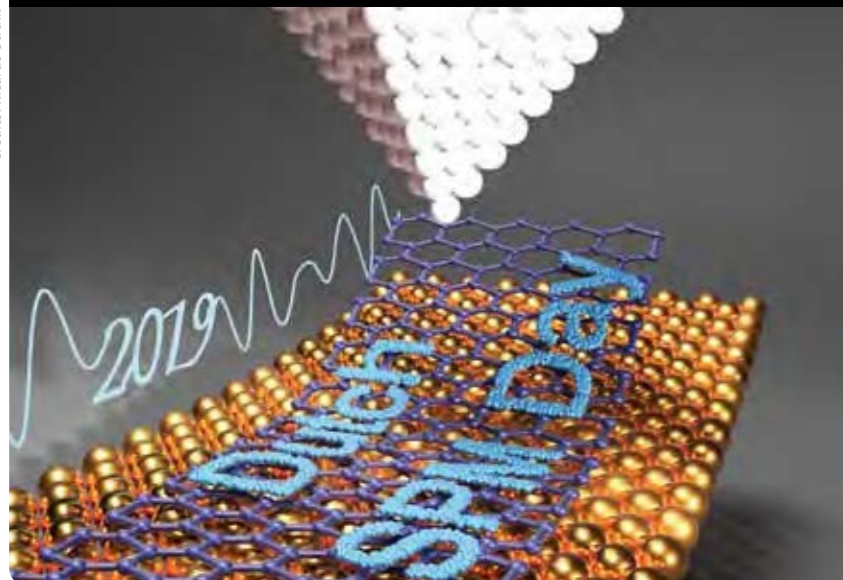
Bas: Er is veel belangstelling voor ons werk en ik verwacht dat er allerlei toepassingen zullen ontstaan. Zelf ben ik op weg naar robotsystemen die zelfstandig functioneren, zonder dat er zoiets als een elektronisch brein nodig is. Een mooi project is de ontwikkeling van een kunstmatig *soft heart* uit zachte, gestructureerde materialen, samen met hartchirurgen en *tissue engineers*. We proberen het hart met zo min mogelijk elektronica aan te sturen, en gebruiken onze kennis om intelligentie direct in het materiaal in te bouwen. Binnen vijf jaar willen we het eerste exemplaar in een schaap of een geit kunnen testen. Daarna zal er nog heel veel tijd overheen gaan voordat we dit bij mensen voor elkaar krijgen – tien jaar is dan echt niet veel.

Said: We zien kansen om supergeleiding te induceren met licht in plaats van koeling. En ik denk dat er over vijf tot zeven jaar concrete toepassingen zullen zijn in computer-achtige systemen. De verwachting is dat zo'n op fotonica gebaseerde 'machine' bij een bepaald soort problemen veel betere prestaties zal leveren dan standaard digitale computers. Tegelijkertijd is er de uitdaging om de systemen bij uiterst lage temperaturen te gebruiken. Dan kom je in het quantumdomein en kun je problemen te lijf gaan waarvoor het tot nu toe aan rekenkracht ontbreekt. Ik durf niet te zeggen dat wij dat gaan ontwikkelen, maar we zullen er zeker aan bijdragen. Overigens is toepassing natuurlijk geweldig, maar ik denk dat goed fundamenteel onderzoek altijd belangrijk is. Er is natuurlijk altijd het risico dat dingen niet lopen zoals je zou hopen. Maar je zult onderweg altijd vragen oproepen die anderen weer tot inspiratie zijn. Uiteindelijk is natuurkunde voor mij dat je de goede vragen stelt, niet dat je op zoek gaat naar de antwoorden die je graag zou willen.



Dutch Scanning Probe Microscopy Day met 120 onderzoekers op AMOLF

De 3D Photovoltaics groep van Esther Alarcón Lladó organiseerde de jaarlijkse *Dutch Scanning Probe Microscopy Day*. Op 1 november kwamen zo'n 120 wetenschappers en vertegenwoordigers van bedrijven naar AMOLF voor een lezingenprogramma, een postersessie en bedrijfspresentaties. Daarmee bracht de Dutch SPM Day alle experts van het *scanning probe microscopy* onderzoek in Nederland en België bij elkaar.



AMOLF maakt werk van datamanagement

Financiers van onderzoek, zoals NWO, verlangen een goed datamanagement, en de onderzoeker heeft hier ook zelf voordeel van. Deze boodschap legde het projectteam Datamanagement neer bij de AMOLF en ARCNL onderzoekers tijdens de gezamenlijke workshops op 23 en 24 oktober. Tijdens de workshops vertelden groepsleiders openhartig over situaties waarbij (gebrek aan) datamanagement een cruciale rol speelde. Om het onderzoek adequaat vast te leggen en het herhalen van experimenten in de toekomst makkelijker te maken, krijgen onderzoekers allemaal een persoonlijk en centraal geregistreerd logboek. Ook voor het digitaal registreren en opslaan van alle noodzakelijke onderzoekdata worden zorgvuldige oplossingen bedacht.

AMOLF en ARCNL zijn in 2017 gestart met een gezamenlijk datamanagement-project onder leiding van AMOLF groepsleider Femius Koenderink. De instituten hebben de ambitie om op termijn de data die voortkomen uit het onderzoek publiek toegankelijk te maken.

ENW-KLEIN-subsidies voor Bruno Ehrler en Jeroen van Zon

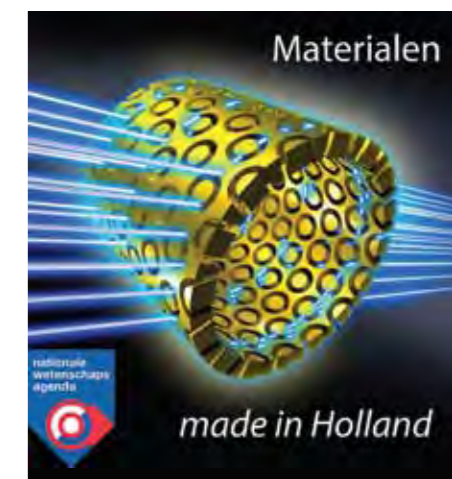
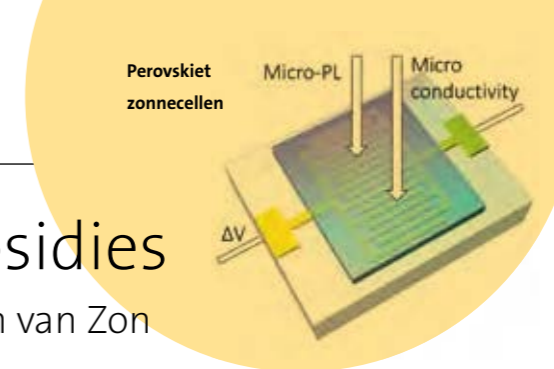
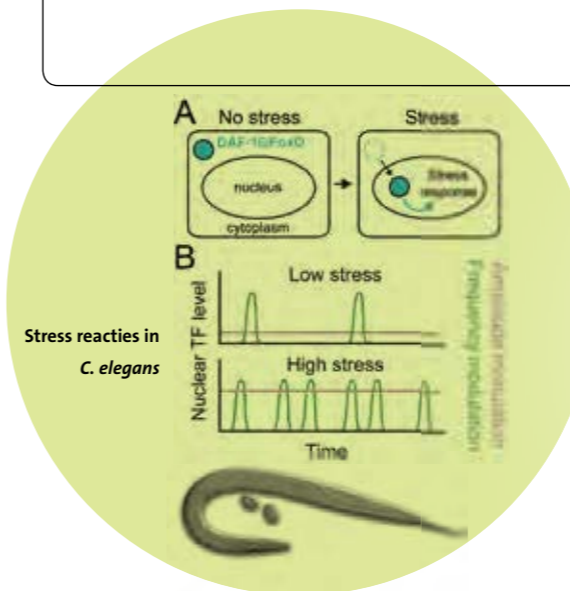
In oktober zijn 18 aanvragen in de NWO Open Competitie ENW-KLEIN gehonoreerd, waaronder die van AMOLF-groepsleiders Jeroen van Zon en Bruno Ehrler. ENW-KLEIN-subsidies zijn bedoeld voor vernieuwend, fundamenteel onderzoek van hoge kwaliteit en/of wetenschappelijke urgentie.

Perovskiet zonnecellen

Zonnecellen zijn essentieel voor de transitie naar een duurzame energievoorziening. De efficiëntie van perovskiet zonnecellen is in de afgelopen jaren enorm toegenomen en is nu vergelijkbaar met bestaande technologieën, zoals multi-kristallijn silicium. In dit project gaat Bruno Ehrler samen met mede-aanvrager Tom Savenije (TU Delft) een speciaal soort perovskiet zonnecel ontwikkelen waarbij ze de elektrische contacten aan een kant van de zonnecel aanbrengen. Met microscopische, optische en elektrische technieken gaan ze deze cellen bestuderen om zo de verliesmechanismen in kaart te brengen. Vervolgens zullen de onderzoekers methoden ontwikkelen om deze verliezen te elimineren en zo de efficiëntie van perovskiet zonnecellen verder te verbeteren.

Stress reacties in *C. elegans*

Als levende organismen te maken krijgen met stress moeten zij de juiste genen aanzetten om te overleven. In de nematode worm *C. elegans* is het insuline-sigitaalnetwerk verantwoordelijk voor de reactie op uiteenlopende soorten stress, zoals voedselgebrek en hoge temperaturen. Jeroen van Zon gebruikt geavanceerde microscopie om te begrijpen waarom een eiwit in dit sigitaalnetwerk, DAF-16/FoxO1, onder constante stress willekeurig heen en weer beweegt tussen het cytoplasma en de celkern, waar het stress-specifieke genen aanzet. Van Zon wil onderzoeken of deze schommelingen iets zeggen over de sterkte en het type stress, en door welk mechanisme deze schommelingen binnen het lichaam zo sterk gesynchroniseerd zijn.



NWA Materialen Workshop

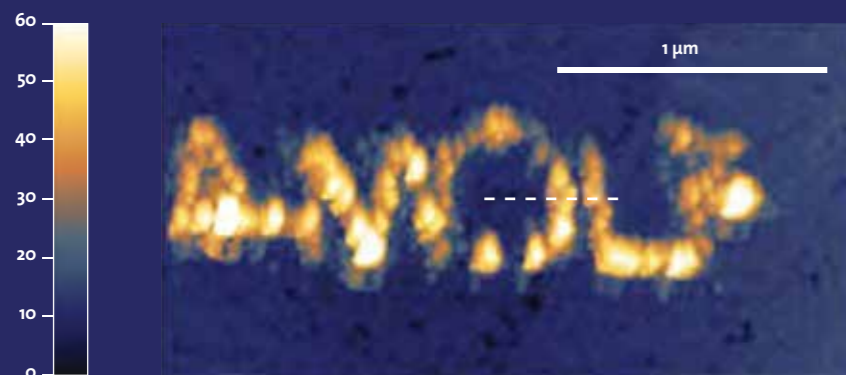
Op 26 november organiseerde de NWO themacommissie Materials Science bij AMOLF de workshop NWA Materialen. Het doel van deze workshop was het vormen van consortia voor de aankomende call 'Onderzoek op Routes door Consortia' van de Nationale Wetenschapsagenda. AMOLF groepsleider Albert Polman is voorzitter van de themacommissie.



Met microscoop schrijven op de nanoschaal

Onderzoekers van de 3D-Photovoltaics-groep is het gelukt om op de nanoschaal elektrochemisch te printen met behulp van een atoomkrachtmicroscop. Met deze techniek kunnen structuren voor een nieuwe generatie zonnecellen op chips worden getekend.

Tekst: Bastienne Wentzel



De koperclusters op het oppervlak van een goudplaatje vormen de letters AMOLF (zie afbeelding). Met het blote oog onzichtbaar, want de letters zijn maar een paar honderd nanometer groot. Maar met de microscoop waarmee de letters ook zijn geschreven is het beeld duidelijk te zien. Met deze atoomkrachtmicroscop (AFM) heeft Mark Aarts, promovendus in de 3D-Photovoltaics-groep, opgeloste koperionen zo weten te manipuleren dat ze letters vormen.

Aarts kan met koper elke vorm tekenen op een oppervlak. Dat komt van pas bij het maken van een nieuwe generatie - op de nanoschaal gefabriceerde - zonnecellen, die zonlicht invangen in verticale nanostructuurtjes: draden, kegels of misschien wel boomvormige elementen. Groepsleider Esther Alarcón Lladó legt uit: "In traditionele zonnecellen valt het licht

op de bovenste horizontale laag, dieper in het materiaal wordt het steeds donkerder. In 3D-zonnecellen is niet alleen de toplaag actief, maar het volledige volume van je materiaal." Een van de uitdagingen is het ontwikkelen van een nieuwe techniek om met elektrochemische processen nanodraden direct *bottom-up* te produceren, in plaats van ze uit een groter stuk materiaal te snijden. Dat is precies waar Aarts mee bezig is.

Tekenen met koper

Aarts gebruikt een eenvoudige elektrochemische reactie die je op de keukentafel kunt uitvoeren: met een helderblauwe oplossing van kopersulfaat in een glas en

Referentie: M. Aarts en E. Alarcón Lladó, *Directed nanoscale metal deposition by the local perturbation of charge screening at the solid-liquid interface*, *Nanoscale* (2019) 11, 18619-18627

twee paperclips als elektroden. Wanneer je spanning op de paperclips zet slaat vast koper op een van de elektroden neer. Hetzelfde gebeurt op nanoschaal in de AFM. Daarin zit een heel kleine naald van platina, 50 nanometer in doorsnee, die over een oppervlak beweegt zoals de naald van een platenspeler over de grammofoonplaat. Voor dit experiment fungeert deze tip als de ene paperclip, en een plaatje goud (of de chip) waarop de structuur wordt getekend als de andere. Het geheel hangt in een oplossing van kopersulfaat. Zet je spanning op de elektroden dan slaat wat koper neer precies waar de tip zich bevindt op het goudoppervlak. Als je de tip beweegt, slaat er iets verderop koper neer. Zo teken je met behulp van elektrochemie een patroontje op een chip.

Dubbellaag

Al snel bleek dat het elektrochemische proces op nanoschaal niet helemaal hetzelfde verloopt als op keukentafelschaal. Zo zag Aarts dat er tegen de verwachting in meer koper op het oppervlak kwam naarmate de concentratie van de kopersulfaatoplossing lager was. Bij hoge concentraties lukte het schrijven zelfs helemaal niet. Wat goed werkte was het zogenaamde tappen ofwel aantikken van het oppervlak met de AFM-tip. Zonder dit aantikken werd zelfs geen koper gevormd. Een fundamenteel proces ligt hieraan ten grondslag, legt Aarts uit. "Om een geladen elektrode heen vormt zich altijd een laag met tegengestelde lading. Deze zogenaamde dubbellaag vormt zich

ook rond onze AFM-tip en de goudelektrode en dat voorkomt dat de reactie van koper plaatsvindt. Bijzonder, want op keukentafelschaal faciliteert de dubbellaag juist de reactie. Door het aantikken van het oppervlak met de tip wordt de dubbellaag verbroken en kan de reactie lokaal plaatsvinden."

Op weg naar zonnecellen

Aarts is tevreden dat de fabricage van 3D-patronen gelukt is met behulp van een AFM en een elektrochemische reactie. Het concentratie-effect en de noodzaak van het aantikken zijn nog niet eerder waargenomen, zegt de onderzoeker. "De dubbellaag is een van de belangrijkste verschijnselen in de elektrochemie, maar is nog niet goed begrepen. Deze kennis kan van belang zijn voor de ontwikkeling van betere batterijen of elektrokatalyse." De structuren die Aarts tekent zijn nu zo'n 50 nanometer groot, omdat de AFM-tip die afmeting heeft. Kleiner zou beter zijn. "Wij denken dat we eenvoudig een kleinere tip kunnen gebruiken om nog kleinere structuren te schrijven." De droom van de onderzoekers is om daadwerkelijk zonnecellen te maken met deze techniek. Daarvoor moeten de structuren hoger worden. "Gecontroleerd de hoogte in is nog lastig," zegt Aarts, dus daar wordt aan gewerkt. Uiteindelijk is het voor een zonnecel nodig om structuren opgebouwd uit meerdere materialen te maken, zoals gallium en arsenide, die samen de beste zonnecellen vormen. "Met elektrochemie kun je makkelijk tegelijk of na elkaar materialen aanbrengen. Binnen de groep onderzoeken wij ook deze processen en we hopen dit in de toekomst allemaal te combineren."

Van wetenschap naar keramiek

AMOLF-onderzoeker Giada La Gala organiseerde een workshop waarin kunst wordt gecombineerd met wetenschap. Over de drijvende vraag achter dit project vertelt La Gala "Als ik mensen vertel over mijn onderzoek, dan zou het leuk zijn om te zien welk beeld dit oproept bij de ander. En dat dit mentale beeld ook voor de omgeving zichtbaar wordt." Ze werkt in haar vrije tijd veel met klei en dit materiaal leent zich goed om een interessante vertaalslag te maken van nanometerschaal naar een object dat zichtbaar is met het blote oog.

La Gala ging met een enthousiaste groep collega-wetenschappers aan de slag. Het project kreeg een officiële naam: 'Molding Nano' en tijdens de Open Dag op 5 oktober werden de keramische voorwerpen (zie foto) tentoongesteld en konden bezoekers ook zelf aan de slag met de klei. Op Physics@Veldhoven in januari presenteerde La Gala haar project aan de Nederlandse natuurkundigen.

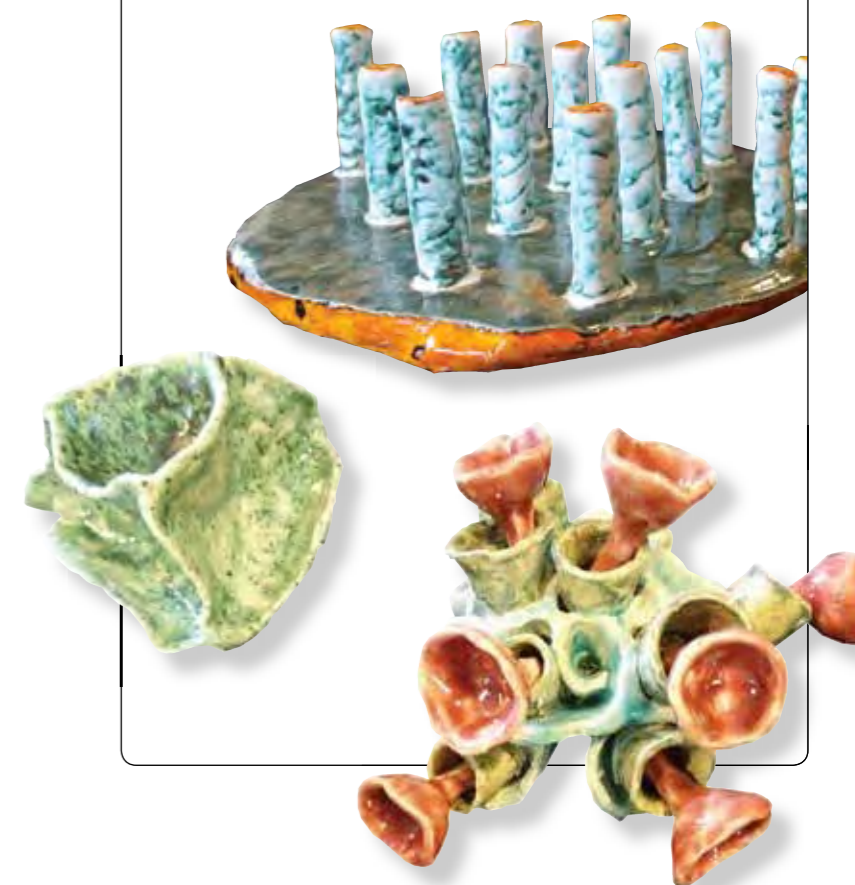
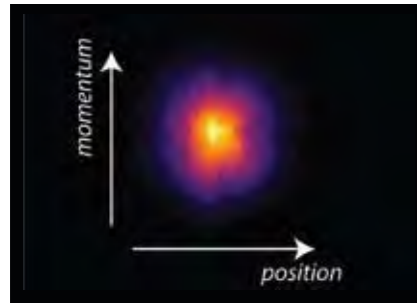


Foto: AMOLF

AMOLF PUBLICATIES UITGELICHT JULI - DECEMBER 2019



CHEMICAL REVIEWS

Introduction: 1D nanomaterials/nanowires
E.C. Garnett, L. Mai en P. Yang
Een introductie bij een speciale uitgave over eendimensionale nanomaterialen.

NATURE MATERIALS

Electron beam spectroscopy for nano-photonics
A. Polman, M. Kociak en F.J. García de Abajo
Elektronenbundelspectroscopie geeft inzichten in nano-optische verschijnselen die niemand had voorzien.

NATURE PHYSICS

Jigsaw puzzle design of pluripotent origami
P. Dieleman, N. Vasmeel, S. Waitukaitis en M. van Hecke
Een 'alfabet' van 140 elementaire vouw-puzzelstukjes programmeert origami.

ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS

3D printed actuators: reversibility, relaxation, and ratcheting
S.C. Zhao, M. Maas, K. Jansen en M. van Hecke
Driedimensionaal geprinte composiet-structuren buigen en hervormen door elektrische aandrijving.

JOULE

Local crystal misorientation influences non-radiative recombination in halide perovskites
S. Jariwala, H. Sun, G.W.P. Adhyaksa, A. Lof, L.A. Muscarella, B. Ehrler, E.C. Garnett en D.S. Ginger
Halide perovskiet zonnecelmaterialen presteren slechter wanneer ze lokaal onder spanning staan.

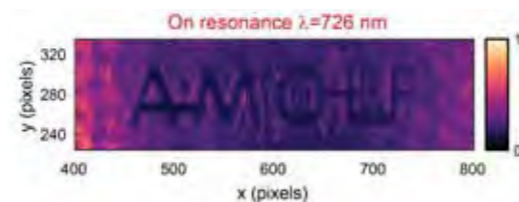
ACS NANO

Plasmon nanocavity array lasers: cooperating over losses and competing for gain
A.F. Koenderink
Een kritisch perspectief op vijf jaar debat over lasers gebouwd van roosters van plasmonische antennes - waarom werken ze eigenlijk zo goed?

NANO LETTERS

Increasing photoluminescence quantum yield by nanophotonic design of quantum-confined halide perovskite nanowire arrays
D. Zhang, L. Gu, Q. Zhang, Y. Lin, D.H. Lien, M. Kam, S. Poddar, E.C. Garnett, A. Javey en Z. Fan
De uitzending van licht kan meer dan 50 keer toenemen door een zorgvuldig ontworpen rooster van nanodraden van halide perovskiet.

High-index dielectric metasurfaces performing mathematical operations
A. Cordaro, H. Kwon, D.L. Sounas, A.F. Koenderink, A. Alu en A. Polman
Wiskunde met de snelheid van licht: de onderzoekers maakten een oppervlak met een nanostructuur die direct wiskundige bewerkingen kan uitvoeren op een ingevoerde afbeelding.



NATURE COMMUNICATIONS

A monolithic immersion metalens for imaging solid-state quantum emitters
T.Y. Huang, R.R. Grote, S.A. Mann, D.A. Hopper, A.L. Exarhos, G.G. Lopez, G.R. Kaighn, E.C. Garnett en L.C. Bassett
De emissie van enkele atomen kan verbeterd worden door een patroon aan te brengen in de directe omgeving van de lichtbron.

Exploring multistability in prismatic metamaterials through local actuation
A. Iniguez-Rabago, Y. Li en J.T.B. Overvelde
Slimme rekenmethode verkent het gedrag van verrassende bouwwerken; een nieuwe manier om het complexe gedrag van driedimensionale metamaterialen te simuleren.

JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS

Crystal orientation and grain size: do they determine optoelectronic properties of MAPbI₃ perovskite?
L.A. Muscarella, E.M. Hutter, S. Sanchez, C.D. Dieleman, T.J. Savenije, A. Hagfeldt, M. Saliba en B. Ehrler
Perovskiet is een nieuw wondermateriaal gemaakt van kleine zoutkristallen waarmee heel eenvoudig zonnecellen met een hoog rendement kunnen worden gemaakt. In tegenstelling tot andere materialen is de grootte van het zoutkristal in perovskiet niet bepalend voor de goede werking van het materiaal en dus het hoge rendement.

Observation of distinct carboxylic acid conformers in aqueous solution
G. Giubertoni, O.O. Sofronov en H.J. Bakker
Ontdekking dat organische zuren in twee zeer verschillende conformaties in water voorkomen.

CURRENT BIOLOGY

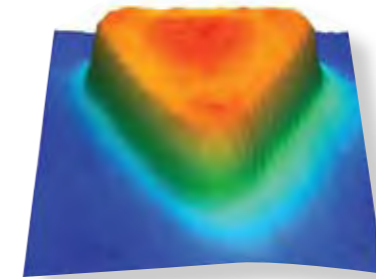
Cell boundary confinement sets the size and position of the E. coli chromosome
F. Wu, P. Swain, L. Kuijpers, X. Zheng, K. Felter, M. Guurink, J. Solari, S. Jun, T.S. Shimizu, D. Chaudhuri, B.M. Mulder en C. Dekker
Experimenten en computersimulaties aan ultra-lange cellen gevangen in microkanalen laten zien dat het chromosoom van de E. coli bacterie te beschouwen is als twee door een veer verbonden zuigers die samengedrukt worden door de osmotische druk van het met eiwitcomplexen gevulde celvolume.

Mycorrhizal fungi respond to resource inequality by moving phosphorus from rich to poor patches across networks
M.D. Whiteside, G.D.A. Werner, V.E.A. Caldas, A. Padje, S.E. Dupin, B. Elbers, M. Bakker, M. Klein, G.A.K. Wyatt, M.A. Hink, M. Postma, B. Vaitla, R. Noë, T.S. Shimizu, S.A. West en E.T. Kiers
Met behulp van quantum-dots hebben de onderzoekers voedingsstoffen en hun transport door schimmelnetwerken zichtbaar gemaakt. Zo konden ze zien dat schimmelnetwerken onderling 'handelsbeslissingen' nemen gebaseerd op de ruimtelijke verspreiding van deze voedingsstoffen.

PROCEEDINGS OF THE IEEE

Lattice resonances in optical metasurfaces with gain and loss
R. Kolkowski en A.F. Koenderink
Periodieke nanopatronen met sterke strooiers, lokaal verlies en elders juist versterking: een simpel model toont verrassende topologische kristaleigenschappen.

Cooperative interactions between nanoantennas in a high Q cavity for unidirectional light sources
K.G. Cognée, H.M. Doleman, P. Lalanne en A.F. Koenderink
Antennes wisselwerken sterk met elkaar via een trilholte en zorgen ervoor dat quantum lichtbronnen alleen linksom of alleen rechtsom hun licht willen uitstralen.



NANOSCALE

Tunable plasmonic HfN nanoparticles and arrays
S.H.C. Askes, N.J. Schilder, E. Zoethout, A. Polman en E.C. Garnett
Het metaal hafniumnitride is een veelbelovend nieuw materiaal voor plasmonen.

NANOPHOTONICS

Light emitting metasurfaces
A. Vaskin, R. Kolkowski, A.F. Koenderink en I. Staude
Een overzicht van 10 jaar onderzoek aan tweedimensionale metamaterialen om lichtbronnen helder, efficiënt, gericht, coherent en schakelbaar te maken.

Hybrid cavity-antenna systems for quantum optics outside the cryostat?
I.M. Palstra, H.M. Doleman en A.F. Koenderink
Is het mogelijk om met behulp van plasmonische antennes gekoppeld aan kleine trilholtes licht tegelijk lang genoeg en in een voldoende kleine ruimte op te sluiten, om quantum-optica met fluoroforen bij kamertemperatuur mogelijk te maken?

ACS PHOTONICS

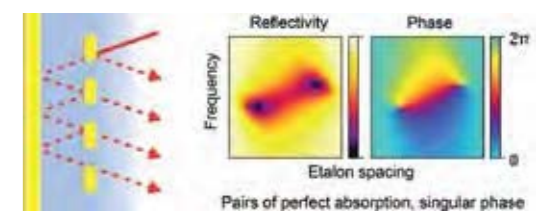
Perfect absorption and phase singularities in plasmon antenna array etalons
A. Berkhout en A.F. Koenderink
Hoe een amper absorberend en verstrooiend nanogestructureerd laagje onvermijdelijk aanleiding geeft tot volledige absorptie van licht, en een volle 2π fase draaiing in reflectie, als je het voor een spiegel plaatst.

PHYSICAL REVIEW LETTERS

State preparation and tomography of a nano-mechanical resonator with fast light pulses
J.T. Muhonen, G.R. La Gala, R. Leijssen en E. Verhagen
De onderzoekers laten zien dat het doen van uiterst precieze metingen aan een trillende nano-snaar die beweging kan afkoelen.

Optomechanically induced birefringence and optomechanically induced Faraday effect
R. Duggan, J. del Pino, E. Verhagen en A. Alù
De polarisatie van licht kan volledig gecontroleerd worden door een wisselwerking met mechanische trillingen van spiegels via stralingsdruk.

Origin of slow stress relaxation in the cytoskeleton
Y. Mulla, F.C. MacKintosh en G.H. Koenderink
Levende cellen danken hun unieke viscoelastische eigenschappen aan een combinatie van twee mechanismen. Aan de ene kant wordt het vezelskelet van de cel stijver bij toenemende vervormingen. Tegelijkertijd zie je dat het steeds vloeibaarder wordt doordat de eiwitten die het skelet bij elkaar houden loslaten onder mechanische belasting.



Directed nanoscale metal deposition by the local perturbation of charge screening at the solid-liquid interface
M. Aarts en E. Alarcón Lladó
Een nieuwe techniek: elektrochemisch printen op de nanoschaal met behulp van een atoomkrachtmicroscop.

Technici zijn duizendpoten

INTERVIEW

Wie je ook spreekt, iedereen is het erover eens: het onderzoek bij AMOLF drijft op hoogwaardige technische ondersteuning van de ontwerpafdeling, de mechanische werkplaats, de elektronica- en softwareafdelingen en het AMOLF NanoLab. De techniek verandert mee in de cycli van het instituut. Engineers Hans Zeijlemaker en Duncan Verheijde, samen goed voor 62 jaar AMOLF techniek, graven in hun geheugen, maar vertellen ook over de mooie techniek van nu.

Tekst: Anita van Stel • foto: Lukas Helmbrecht

“Van vacuümlab zijn we DunneLagenLab geworden en nu hebben we een state-of-the-art NanoLab”, racet Zeijlemaker door de tijd. “Ik doe niks meer van wat ik vroeger deed.” Zeijlemakers ‘vroeger bij AMOLF’ startte in 1980. Hij werd als technicus aangenomen door Jan Verhoeven en Gerrit Frijlink. “Bijzonder, want ik kwam met veel strepen uit militaire dienst en Frijlink was fanatiek pacifist.” Voor Verheijde lagen de banen na zijn afstuderen aan de HTS niet voor het opscheppen, dus startte hij zijn eigen bedrijf voor beeld en geluidstechniek. Totdat hij in 1998 de vacature voor hoger elektronicus bij AMOLF zag. “Ik moest ervoor verhuizen, van Limburg naar Almere. Ik heb nog geen dag spijt gehad.”

Technische hoogstandjes

In 1980 hield AMOLF zich vooral bezig met oppervlaktefysica. Het Vacuüm Technisch Lab was dé specialist op het gebied van vacuümtechniek. Er werden cursussen georganiseerd met nationaal erkende diploma's. Zeijlemaker: “Vacuümtechniek was toen nog een onderzoeksrichting. Wij hadden het hoogste vacuüm van Nederland. Nu heb je met een druk op de knop vacuüm, maar ultrahoog vacuümtechniek is hartstikke moeilijk. Dat realiseert niemand zich meer.

Dat is niet erg, want we zijn met het oppervlakteonderzoek gestopt.” Verheijdes verleden is een lange sliert herinneringen aan technische hoogstandjes, met één uitgesproken hoogtepunt: de technische ondersteuning van de groep Quantumgassen van Jook Walraven. In 2004 slaagde Walraven erin de verstrooiing van atomen te meten door twee Bose-Einstein condensaten, gekoeld tot een paar honderd nanokelvin, tegen elkaar aan te schieten. Verheijde: “Onze bijdrage was technisch behoorlijk onderscheidend. Door de spoelen gingen stromen van 200 ampère, met een precisie van milliampères. Als je dat niet voor elkaar kreeg, werd er door de ruis te veel warmte in het atoomwolkje geïntroduceerd en lukte de extreme afkoeling niet. We bouwden – eigenwijs – elektronica met componenten die niet voor dit doel bestemd waren. Zeijlemaker voegt toe dat de prachtige spoelen uit de werkplaats kwamen: “Om je vingers bij af te likken.”

Apparaten komen en gaan

De techniek van AMOLF beweegt mee met het onderzoek. Dat gaat volgens de mannen organisch en het houdt iedereen fris. “Er dienen zich nieuwe technieken aan en daar spring je dan op in”, zegt Zeijlemaker. “Jan Verhoeven, mijn vroegere chef, had

twee opstellingen die we Kleine Jan en Dikke Jan noemden. Kleine Jan was voor enkele laagjes en met Dikke Jan werd onderzoek gedaan om dunne lagen en röntgenspiegels te maken. Dikke Jan, een fantastisch systeem, werd twee jaar geleden ingeruild voor een opdampers waarmee je binnen één uur een laag kan maken, terwijl Dikke Jan er een paar dagen over deed. Dat kun je jammer vinden, maar het is wel logisch.” Zeijlemaker

is sinds 2010 hoofd van het NanoLab. AMOLF herbergt deze nationale faciliteit voor nanotechnologieonderzoek, waar onderzoekers terecht kunnen voor lithografie, depositie, etsen en karakterisering van materialen tot op de nanometerschaal.

Van scratch

“Dit is een *wire wrap board*, de voorloper van de hedendaagse printplaat.” Op zijn afdeling Electronic Engineering laat Verheijde de indrukwekkende wirwar van gekleurde draadjes zien en legt er een nieuw printplaatje met minuscule chips naast dat hij net ontworpen heeft. “We maken het niet meer zelf, maar laten dat door gespecialiseerde bedrijven doen.” Het voorbeeld van de printplaat illustreert volgens Verheijde de grootste verandering in zijn 22 jaar AMOLF: technici ontwierpen voorheen van scratch apparaten en construeerden ze zelf. Verheijde: “Het type onderzoek dat AMOLF tegenwoordig doet, is niet

meer zo afhankelijk van de ontwikkeling van instrumentatie. We schaffen steeds vaker instrumenten aan die in de richting komen van wat de onderzoeker zich voorstelt. Aan de hand van nieuwe inzichten passen we die vervolgens aan. Dat laatste hoort echt bij fundamenteel onderzoek. Als je al weet wat je gaat vinden, is er niet veel meer te onderzoeken en niks meer te verbeteren aan de meetinstrumenten. Voor de massaspectrometriegroep van Ron Heeren schaften we destijds meerdere massaspectrometers aan en we bouwden ze zodanig om dat ze een nieuwe functionaliteit kregen. Soms gebeurde dat ook in samenwerking met de fabrikant.” Zeijlemaker vertelt dat in het oude DunneLagenLab volgens hetzelfde principe een opdampersysteem werd gebouwd om voor röntgenspiegels via *ion beam deposition* (Ibad) een mooi oppervlak te kunnen maken. “Het ionenkanon ligt hier in de kast. We bereidden het nieuwe opdampersysteem voor om Ibad te gaan doen, maar het bleek helaas een te ingewikkeld systeem voor de huidige toepassingen. Dat Ibad-systeem heb ik overigens niet weggedaan. Je weet maar nooit.”

Niet kleiner maar complexer

Verheijde maakte de intrede mee van de pc als kerncomponent van een opstelling. Hij vertelt dat de gelaagdheid van elementen in de pc nu maakt dat niemand meer precies weet wat onder de motorkap gebeurt. Op de afdeling van Verheijde zijn ze daarom bezig om taken bij de computer weg te halen. “We laten kleine, op microcontroller gebaseerde systeempjes

weer autonoom lopen.” Zeijlemaker denkt dat de vooruitgang zit in complexere materialen. “We zijn geen platlanders meer. Alles wordt 3D.” Ook verwacht hij veel van zelfassemblage van structuren: het onderzoek van Wim Noorduyn, dat zich baseert op het laten groeien van structuren met simpele sturingsprocessen. De techniek moet ervoor zorgen dat diagnostiek van deze structuren mogelijk is. We kunnen niet kleiner, maar wel complexer.” Verheijde veronderstelt dat de toekomstige beschikbaarheid van elektronica afhankelijk zal zijn van de grote industrie. “Als onderzoeksinstituut zijn wij een kleine speler. Kunstmatige intelligentie is op dit moment leidend voor de nieuwste ontwikkelingen. De komende jaren komt het nog meer aan op onze eigen inventiviteit. De technische disciplines zijn heel breed. Dat zie je bij onze afdelingen vertaald in deelspecialisaties.” Zeijlemaker voegt eraan toe dat samenwerking in dit licht cruciaal is: “Ik weet niet meer precies wat mijn collega's in het NanoLab Dmitry, Bob, Igor en Johan doen, want ik kan hun hand niet vasthouden. Technici moeten nog meer dan vroeger allemaal duizendpoten zijn die hun eigen vak verstaan en zich ook kunnen inleven in de onderzoekers. Maar dat zit bij ons wel snor.”

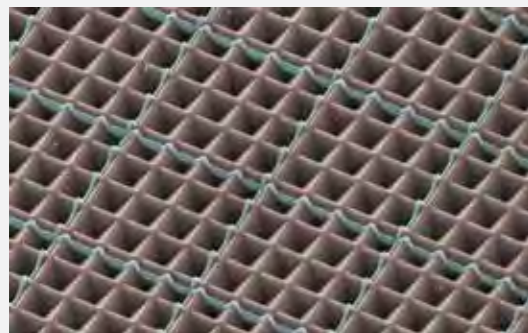
“We bouwden – eigenwijs – elektronica met componenten die niet voor dit doel bestemd waren.”



AMOLF gaat samenwerken met Cambridge

Onderzoekers van University of Cambridge en AMOLF hebben van de Britse Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) financiering gekregen voor een zogenaamde *Centre-to-Centre* samenwerking. Deze financiering maakt het mogelijk voor onderzoeksgroepen in het Verenigd Koninkrijk om samenwerkingen aan te gaan met de beste onderzoeksgroepen in het buitenland.

In het project *Photonics and Optoelectronic Control of Thin-Film LEDs and Solar Cells* gaan de onderzoekers hun expertises combineren. Cambridge heeft een grote en succesvolle groep onderzoekers op het gebied van efficiënte zonnecellen en leds op basis van nieuwe halfgeleiders. AMOLF heeft internationaal een vooraanstaande positie in het gebruiken van de controle van licht op de nanoschaal voor opto-elektronische toepassingen. Met deze samenwerking hopen de onderzoekers nieuwe perovskiet- en organisch-anorganische hybride technologieën sterk te verbeteren.



Substrate Conformal Imprint Lithography, nanostructuur gemaakt met een speciale lithografietechniek

Machine learning voor mechanische metamaterialen

AMOLF is een samenwerking gestart met de Universiteit van Amsterdam en de Universiteit Utrecht op het gebied van kunstmatige intelligentie. Op dit strategisch belangrijke thema startte op 15 december de eerste promovendus Ryan van Mastrigt in de groep van Martin van Hecke. Hij onderzoekt de mogelijkheden om *machine learning* in te zetten voor mechanische metamaterialen. Van Mastrigt zal naast zijn verblijf in de groep van Van Hecke, een deel van zijn tijd doorbrengen op de UvA bij de groep van Corentin Coulais en ook worden begeleid door Marjolein Dijkstra van de Universiteit Utrecht, om zo volop gebruik te maken van elkaars expertise en netwerk. De betrokken groepsleiders zullen ook regelmatig bij elkaar te gast zijn.

LMPV Symposium brengt photovoltaïcs onderzoekers samen

Op 30 augustus kwamen photovoltaïcs onderzoekers bijeen op AMOLF voor het jaarlijkse symposium *Light Management in Photovoltaics*. Naast een vol programma met internationale voordrachten over het nieuwe zonnecel materiaal perovskiet en energieconversie-mechanismen, was er aandacht voor het IPCC klimaatrapport. In zijn presentatie verhelderde Detlef van Vuuren (Planbureau

voor de Leefomgeving) de manier waarop het IPCC klimaatmodellen samenstelt. Een van zijn afsluitende grafieken stemde somber: de huidige maatregelen zijn niet ambitieus genoeg om de opwarming van de aarde onder de 2 graden Celsius te houden. Hiermee werd het belang van wetenschappelijk onderzoek op het gebied van duurzame energie onderstreept.



Women in Science Day



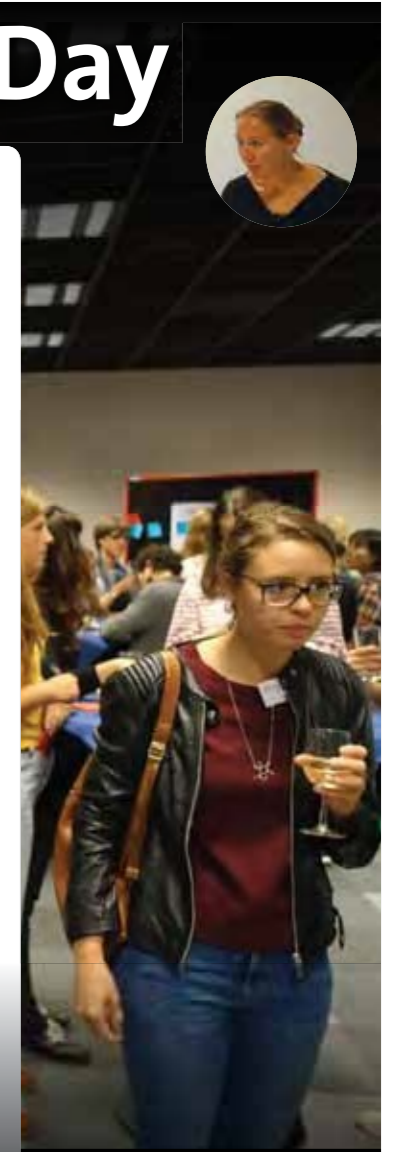
AMOLF en ARCNL willen inclusieve instituten zijn waar iedereen zich thuisvoelt. Maar in de labs zijn de vrouwen nog ondervertegenwoordigd. Daarom wordt bij de werving van nieuwe collega's gestreefd naar een groter aantal vrouwen.

In dit kader nemen AMOLF en ARCNL onder andere deel aan het WISE (Women in Science Excel) programma van NWO, wat leidde tot een groepsleiderspositie voor Kristina Ganzinger (AMOLF) en Lyuba Amitonova (ARCNL).

Op 16 september kwamen de vrouwelijke wetenschappers van ARCNL en AMOLF bijeen voor een programma met lezingen en workshops over de genderdisbalans in de wetenschap. Het komt sporadisch voor dat vrouwen in de bètawetenschap-

pen ervaren 'met velen' te zijn. In hun lezingen lieten Esther Alarcón Lladó en Petra Rudolf (Rijksuniversiteit Groningen) zien hoe weinig vrouwen in de bètawetenschappen werken en waarom dat zo is. Ze bespraken ook wat vrouwen kunnen doen om succesvol te zijn. In de workshops leerden de deelnemers vervolgens hoe ze zich stevig kunnen neerzetten en hun kennis en talenten overtuigend kunnen promoten. De middag werd afgesloten met levendige uitwisselingen van ieders ervaringen en meningen.

Foto's: Henriëtte Langeveld, Nout Steenkamp, Lukas Helmbrecht



Esther Alarcón Lladó:
"Pak iedere kans om dat te doen waar je plezier in hebt."



Petra Rudolf:
"Gender disbalans is niet alleen een zaak van vrouwen."

Slimme rekenmethode verkent het gedrag van verrassende bouwwerken

Onderzoekers uit de groep Soft Robotic Matter bestuderen driedimensionale structuren die verschillende vormen kunnen aannemen, met het doel om metamaterialen te maken die meerdere eigenschappen hebben. Ze bedachten een nieuwe manier om de vervormingen in dergelijke structuren te simuleren en vonden zo allerlei onverwachte vormen.

Tekst: Bastienne Wentzel



Foto's: AMOLF

Het is fundamenteel wiskundig onderzoek en toch heel tastbaar. Op het bureau staat een complex, origami-achtig bouwwerk gemaakt van plastic vierkantjes. Als je er met de hand op duwt vouwt het in elkaar en vormt het een compacte structuur die meer lijkt op een flatgebouw met vier torens. Welke vormen kan het bouwwerk aannemen? Dat voorspelt de nieuwe rekenmethode van Agustin Iniguez-Rabago, Yun Li en Bas Overvelde.

Meerdere vormen

Het bouwwerk is een model voor een driedimensionaal mechanisch metamateriaal, met de hand gebouwd door Iniguez-Rabago. Het materiaal is ook nog eens multistabiel, dat wil zeggen dat het meerdere vormen kan aanhouden zonder er kracht op uit te

oefenen. "Wellicht herinner je je van vroeger nog de klaparmbandjes die je om je pols kunt slaan, die zowel stabiel zijn in een rechte als ronde vorm", zegt groepsleider Overvelde. "De structuren die we hebben onderzocht laten vergelijkbaar gedrag zien, maar dan met nog veel meer mogelijkheden." Maar niet alle materialen waar de onderzoekers mee werken kun je zo intuïtief begrijpen, zegt Iniguez-Rabago. "Van sommige structuren hadden we helemaal niet verwacht dat ze multistabiel gedrag zouden laten zien. Ik was verrast dat dit zomaar uit onze nieuwe rekenmethode rolde."

Robotjes

Metamaterialen hebben bijzondere eigenschappen die afhankelijk zijn van hun vorm, niet alleen van het

materiaal waarvan ze gemaakt zijn. Als onderzoekers goed in de vingers krijgen hoe de vorm de eigenschappen bepaalt, dan gaat er een wereld aan toepassingen open. Deze materialen kunnen bijvoorbeeld worden ingezet als kleine robotjes of systemen om energie in op te slaan. "We hebben de structuren gebouwd op de centimeterschaal om te kijken of onze berekeningen kloppen. Echter, het onderliggende mechanische gedrag zou ook op veel kleinere of grotere schaal toepasbaar moeten zijn", zegt Overvelde.

Slimme berekeningen

De onderzoekers zijn er recent in geslaagd om grote hoeveelheden driedimensionale modellen slim door te rekenen. Iniguez-Rabago legt uit: "We willen weten hoeveel stabiele vormen

een bepaald ontwerp heeft. Tot nu toe nam men vaak een tweedimensionaal model en probeerde dat zo precies mogelijk te beschrijven. Maar nu kunnen wij driedimensionale metamaterialen onderzoeken, die zeer complex gedrag vertonen dat lastig te voorspellen is."

Flexibele vlakken

De onderzoekers maakten twee belangrijke keuzes om de berekeningen voor elkaar te krijgen. De eerste is dat ze de vlakken van de bouwwerken enigszins flexibel maakten. Daardoor wordt de overgang van de ene naar de andere vorm vergemakkelijkt, met

als resultaat meer stabiele vormen per bouwwerk. De tweede is dat ze de computer niet willekeurig alle mogelijke vormen lieten doorrekenen, maar alleen unieke combinaties van krachten toepassen op de scharnieren. "In zekere zin knijpen we op verschillende manieren in een structuur en kijken we of de structuur naar een andere vorm springt; erg vergelijkbaar met hoe je experimenten zou uitvoeren." Daardoor wordt het rekenwerk veel eenvoudiger. "Op deze manier vonden we in sommige gevallen wel meer dan honderd stabiele vormen", stelt Iniguez-Rabago.

Gecontroleerde beweging

Dat hun berekeningen kloppen, lieten de onderzoekers zien door de bouwwerken ook te maken. Nu gaan ze een stap verder. Door één scharnier een beetje te bewegen (in het model door een enkel ballonnetje op te blazen) kunnen ze de hele structuur drastisch van vorm doen veranderen. "Dit idee kunnen we gebruiken in latere toepassingen," legt Iniguez-Rabago uit. "Met responsieve materialen zoals hydrogels kun je een structuur op veel kleinere schaal bouwen en gecontroleerd laten bewegen. Dat is ons uiteindelijke doel." •

Referentie: Agustin Iniguez-Rabago, Yun Li and Johannes T.B. Overvelde, *Exploring multistability in prismatic metamaterials through local actuation*, Nature Communications 10, 5577 (2019)

Cum laude promotie **Mario Avellaneda Sarrió**

Op 28 november promoveerde Mario Avellaneda Sarrió (Biophysics groep) cum laude aan de Technische Universiteit Delft. Na de succesvolle verdediging van zijn proefschrift *Chaperone-mediated protein rescue* vroegen we hem naar zijn AMOLF-ervaringen en plannen voor de toekomst.



Foto: Nicola Critti

Waar gaat je onderzoek over?

“Door het verkeerd vouwen en samenklonteren van eiwitten in de cel ontstaan ziektes zoals Alzheimer en Parkinson. Het begrijpen van deze vouwprocessen kan bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe geneesmiddelen. Tijdens mijn promotieonderzoek heb ik onderzocht hoe een speciaal soort eiwitten, *chaperones* genaamd, andere eiwitten helpen om goed te vouwen en zo klontering te voorkomen. Een opmerkelijke chaperone is ClpB, die al geklonterde eiwitten weer uit elkaar kan trekken. We ontdekten dat ringvormige ClpB's de samengeklonterde aminozuur ketens met grote snelheid en kracht als een lus door hun centrale kanaal kunnen trekken. Omdat deze lus maar net door het kanaal past, en de grotere klont niet, trekt ClpB de geklonterde aminozuur keten dus uit elkaar. Dat dit op deze manier gebeurt was lange tijd een hypothese. Wij hebben

het als eerste experimenteel aangetoond en laten zien dat het een effectieve strategie is om gevaarlijke klontering te bestrijden.”

Is er AMOLF-onderzoek buiten je eigen vakgebied dat je aandacht trok?

“Ik heb het geluk gehad om mijn kamer op AMOLF te delen met twee inmiddels goede vrienden, van wie ik het onderzoek met enthousiasme en bewondering heb gevolgd. Federica Burla heeft mooi onderzoek gedaan aan netwerken van het cytoskelet van de cel. Ze wist veel technieken te combineren. De Minervaprijs die ze dit jaar krijgt is dan ook verdiend! Ik ben daarnaast ook geïnteresseerd in beeldanalyse en Mathijs Rozemuller heeft een geweldige techniek ontwikkeld om alle individuele neuronen van de *C. elegans* worm te volgen en zo hun reactie op stimuli waar te nemen. Het was inspire-

rend om te zien hoe hij in deze techniek elke week nieuwe verfijningen aanbracht.”

Hoe ziet je volgende carrièrestap eruit?

“Komende zomer vertrek ik naar Wenen en start ik als postdoc aan het Institute of Science and Technology (IST Austria). Ik ga daar in de groep van Michael Sixt onderzoeken hoe immuuncellen efficiënt door het lichaam kunnen navigeren om invasieve organismen en infecties te bestrijden. Daarmee verandert het onderwerp van mijn onderzoek van enkele eiwitten naar complete cellen en organismen. De aantrekkingskracht van dit onderzoeksveld is voor mij dat het sneller tot toepassingen kan leiden, zoals de behandeling van bijvoorbeeld kanker of auto-immuunziektes. Na deze postdocperiode hoop ik genoeg kennis en vaardigheden te hebben om zelf een onderzoeksgroep te starten.”

Wat was je eerste reactie op je cum laude promotie?

“Ik was natuurlijk aangenaam verrast. Mijn PhD was toch wel een traject van vallen en opstaan, en om dan met cum laude beoordeeld te worden voelt wel speciaal. Ik ben alle mensen die betrokken waren bij mijn onderzoek erg dankbaar en vooral mijn promotor Sander Tans. Hij heeft me niet alleen begeleid en ondersteund, maar bevestigde me ook op een positieve manier. Het was de best mogelijke afsluiting van vijf geweldige jaren op AMOLF!”

En wat zegt groepsleider en promotor Sander Tans?

“Het was inspirerend om met Mario te werken. Hij is zeer talentvol en enorm kritisch ingesteld, wat de basis is voor goed wetenschappelijk onderzoek. Mario heeft, samen met Eline Koers, de biochemie in onze groep naar een hoger plan gebracht. Hij was goed gefocust in het ClpB project, waarin hij precies wist welke metingen gedaan moesten worden, wat wel of niet kon, en hoe de analyses er uit zouden moeten zien. Daar was hij erg autonoom en snel in. De discussies waren altijd meteen to-the-point. Hij heeft deze cum laude echt dubbel en dwars verdiend. We hebben veel mooie puzzels opgelost samen. Zeker in zo'n totaal nieuw systeem – want niemand had ooit de translocatie van een aminozuurketen als lus gezien. Je denkt dan echt na over de fundamentele basisprincipes; kennis die ook van belang zal zijn voor andere translocatie eiwitten in ons lichaam. Heel mooi is dat deze studie net is geaccepteerd voor publicatie in Nature. In de groep was Mario erg geliefd. Altijd lachen en grapjes maken, en soms uitdagende meningen verkondigen. Het was al met al een enorm levendige tijd!”



Open Dag

Op 5 oktober vond de jaarlijkse Open Dag plaats. Op het programma stonden – naast de terugkerende activiteiten – verschillende nieuwe demonstraties en (kinder) workshops. Sander Tans verzorgde de lezing *Moleculaire robots tegen Alzheimer* en Jeroen van Zon gaf speciaal voor kinderen *Het grote wormencollege*.



Foto: Robert Bloem

AMOLF IN DE PRIJZEN

Afstudeerprijs voor Susan Rigter

Susan Rigter heeft de Tata Steel Afstudeerprijs voor Werktuigbouwkunde en Materiaalkunde 2019 gewonnen voor haar scriptie *Amorphous Organic-Inorganic Perovskites*. De prijs werd uitgereikt tijdens een feestelijke bijeenkomst op 25 november bij de Koninklijke Hollandse Maatschappij der Wetenschappen (KHMW). Rigter studeerde af aan de VU/UvA en deed haar masteronderzoek in de Nanoscale Solar Cells groep van Erik Garnett op AMOLF, waar ze nu ook haar promotieonderzoek doet. De prijs bestaat uit een geldbedrag van 5.000 euro.



Foto: Hilde de Wolf



Foto: Jeroen Oerlemans

Albert Polman bij meest geciteerde onderzoekers

Web of Science stelt jaarlijks een overzicht op van de 1% meest geciteerde onderzoekers over de laatste tien jaar, per onderzoeksgebied. Net als vorig jaar staat Albert Polman op deze eervolle lijst, de Highly Cited Researchers 2019, voor de onderzoeksgebieden nanofotonica en fotovoltaïcs. De titel *highly cited researcher* betekent, naast auteur zijn van vaak geciteerde publicaties, ook dat de betreffende onderzoeker invloedrijk is en van betekenis voor het betreffende onderzoeksgebied.

Said Rodriguez wint Early Career Award

In november maakte de KNAW bekend dat Said Rodriguez een van de winnaars is van de Early Career Awards. Met deze nieuwe prijs moedigt de KNAW getalenteerde onderzoekers aan om hun ideeën verder te ontwikkelen. De prijs bestaat uit een geldbedrag van 15.000 euro en een kunstwerk.



Lisa de Bruin fotografie

Natuurkunde Proefschrift Prijs voor Hugo Doeleman

AMOLF/UvA alumnus Hugo Doeleman heeft de NWO Natuurkunde Proefschrift Prijs 2019 gewonnen. Doeleman promoveerde op 18 januari 2019 cum laude aan de Universiteit van Amsterdam met het proefschrift *Hybrid Resonators for Light Trapping and Emission Control*. Hij deed zijn onderzoek in AMOLF's Center for Nanophotonics in de groep van Femius Koenderink in nauwe samenwerking met Ewold Verhagen (AMOLF) en Robert Spreeuw (UvA). Zij zijn als begeleiders trots op deze erkenning van de wetenschappelijke prestaties en het talent van Doeleman.

Hugo Doeleman ontving de prijs op 21 januari tijdens het jaarlijkse natuurkundecongres Physics@Veldhoven. De prijs bestaat uit een bedrag van 10.000 euro plus een sculptuur. Sinds enkele maanden is Doeleman postdoc onderzoeker bij ETH in Zürich.

Nieuwe medewerkers juli – december 2019

OIO'S

Burak Demirbas
Lori van de Cauter
Kevin Peters
Yorick Bleiji
Balazs Antalcz
Fotios Avgidis
Luca Gross
Christiaan van Campen-
hout
Susan Rigter

Stefanos Kovaivos
Giel Keijsers
Pepijn Koppejan
Marnix Ackermans
Marnix Vreugdenhil
Isabel Koschany
Nika van Nielen
Emil Kensington
Merlinde Wobben
Jim Carstens
Imane Ahlal
Lotte Slim
Mathis Munck

GASTEN

Gerard Castro Linares
Laura Mercade Morales
Vahid Khoshdel
Lyndsey Housden

ONDERSTEUNEND PERSONEEL

Ronald Norbruis
Rosette Ho-A-Hing
Marja Keijzer
Arjan Breed
Sjors Essen

POSTDOCS

Rahul Gera
Johneph Sukham
Ilan Shlesinger
Aditi Bhattacharjee
Tom Green

STAGIAIRS

Sevda Malek Kani
Shihao Wang
Joost Jennen
Danai Galiti
Kerem Kayan
Manuel Reinhardt



NWO Natuurkunde Valorisatieprijs voor Ron Heeren



Voormalig AMOLF-groepsleider Ron Heeren krijgt de NWO Natuurkunde Valorisatieprijs voor zijn succesvolle vertaling van natuurkundig onderzoek naar de markt, en voor zijn bijdrage aan patiëntendiagnostiek. Heeren ontwikkelt innovatieve instrumenten en methodes voor beeldvormende massaspectrometrie. Hij vertrok in 2014 naar Maastricht waar hij directeur werd van het Maastricht Multimodale Moleculair Imaging Instituut (M4I), en hoogleraar aan de Universiteit Maastricht. De prijs van 250.000 euro werd op 21 januari 2020 uitgereikt tijdens Physics@Veldhoven.

Federica Burla wint Minerva-Prijs

De NWO Minerva-Prijs 2019 voor de beste wetenschappelijke publicatie van een vrouwelijke natuurkundige ging naar AMOLF-onderzoeker Federica Burla. De jury was onder de indruk van haar publicatie in *Nature Physics* over biomechanica. Daarin beschrijft ze hoe lichaamsweefsels ondanks permanente mechanische stress goed kunnen blijven functioneren, namelijk dankzij de samenwerking van collageen en hyaluronzuur.

Het onderzoek maakt deel uit van de samenwerking tussen AMOLF en Unilever Research & Development in het Hybrid Soft Materials IPP programma. Op 19 juni 2020 zal Burla haar proefschrift verdedigen aan de Vrije Universiteit in Amsterdam met Gijsje Koenderink als promotor.

De prijs bestaat uit een bedrag van 5.000 euro en een bronzen beeld van een uil: symbool van de wijsheid van de Romeinse



godin Minerva. Federica Burla nam de prijs in ontvangst op 21 januari tijdens Physics@Veldhoven.

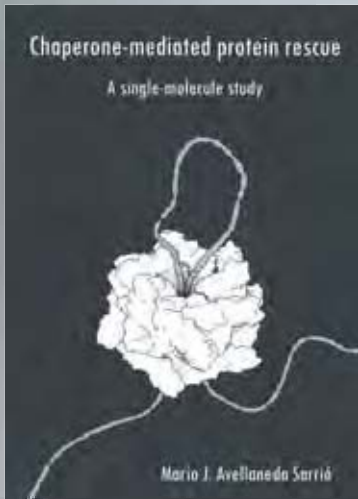
Cum laude Yorick Bleiji wint de Best ANNIC 2019 Poster Presentation-prijs



Foto: AMOLF

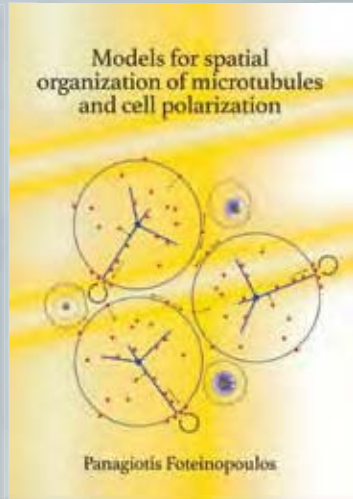
In juli van dit jaar studeerde Yorick Bleiji cum laude af aan de UvA en de VU. Hij deed zijn masteronderzoek in de 3D Photovoltaïcs groep van Esther Alarcón Lladó en schreef daar zijn scriptie *Towards inexpensive manufacturing of nanostructured III-V semiconductors using electrochemical mediated growth*. In september ging hij als PhD student aan de slag in dezelfde groep. Tijdens de Applied Nanotechnology and Nanoscience International Conference (ANNIC 2019) afgelopen november in Parijs, won Bleiji de Best ANNIC 2019 Poster Presentation-prijs voor zijn poster *Understanding the electrochemical mediated growth of crystalline III-V semiconductors using InAs as a platform*.

AMOLF-proefschriften JULI - DECEMBER 2019



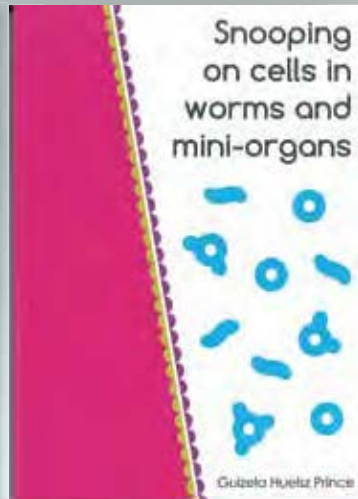
**CHAPERONE-MEDIATED
PROTEIN RESCUE**

Mario J. Avellaneda Sarrió
Technische Universiteit Delft



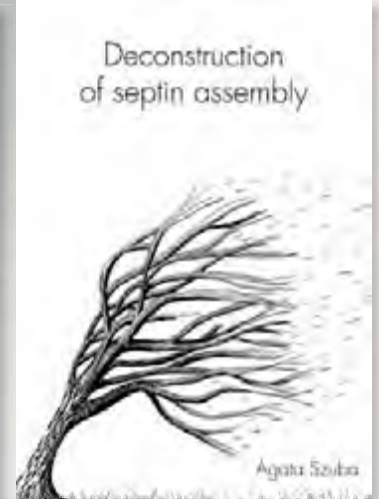
**MODELS FOR SPATIAL ORGANIZATION OF
MICROTUBULES AND CELL POLARIZATION**

Panagiotis Foteinopoulos
Wageningen University and Research



**SNOOPING ON CELLS IN
WORMS AND MINI-ORGANS**

Guizela Huelsz-Prince
Technische Universiteit Delft



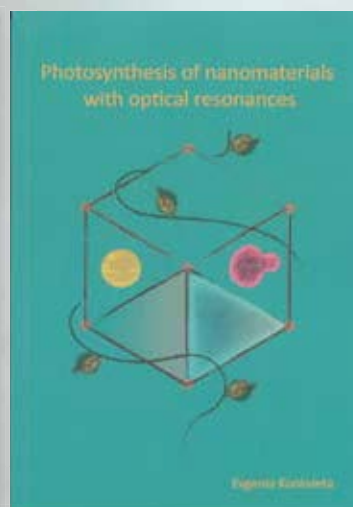
**DECONSTRUCTION OF
SEPTIN ASSEMBLY**

Agata Szuba
Vrije Universiteit Amsterdam



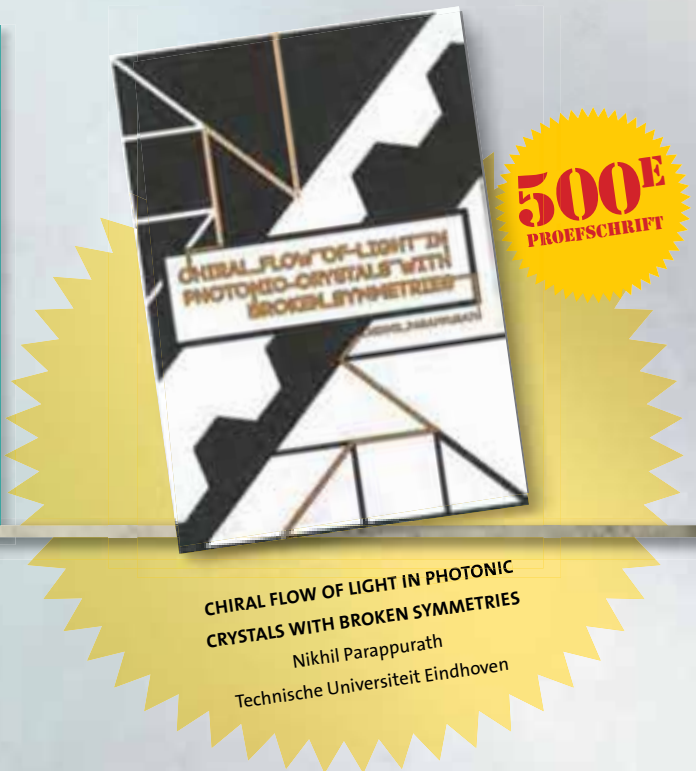
**DYNAMIC REORGANIZATION OF
MICROTUBULE NETWORKS: BUILDING
THE NEW BY BREAKING DOWN THE OLD**

Marco Saltini
Wageningen University and Research



**PHOTOSYNTHESIS
OF NANOMATERIALS WITH OPTICAL
RESONANCES**

Evgenia Kontoleta
Universiteit van Amsterdam



**CHIRAL FLOW OF LIGHT IN PHOTONIC
CRYSTALS WITH BROKEN SYMMETRIES**

Nikhil Parappurath
Technische Universiteit Eindhoven