

CHLAMYDIA P3

Geslachtsziekte ontglipt ons

INTERVIEW P6

Willem Wijnstekers over tijgers en tonijnen

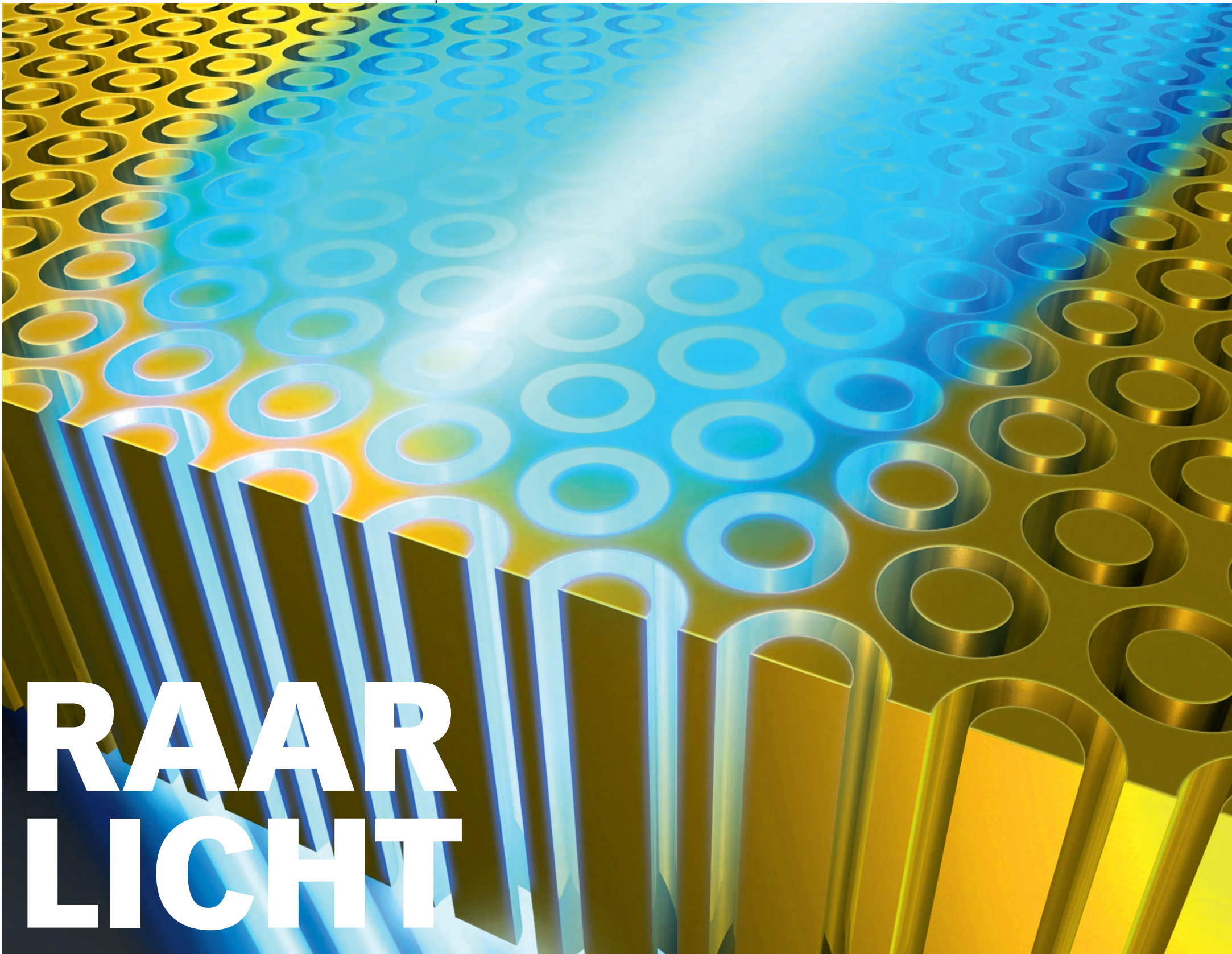
TECHNIEK P4

Boeing landt beter met een gps

VERDER

BEELD V.D. WEEK P2
TUSSEN DE OREN P4
GAMMACANON P5
BAS HARING P7

Wetenschap



Impressie van de manier waarop een lichtstraal door een metamateriaal van nanokanaaltjes beweegt.

Illustratie FOM/Amolf

Met een zilveren nanofolie hopen Amsterdamse onderzoekers licht tot nieuw gedrag te dwingen. Bizar gedrag: het buigt de verkeerde kant op, loopt achteruit en maakt desgewenst ook nog Harry Potter onzichtbaar. Door **Martijn van Calmthout**

Pas op, je gezonde verstand wil er in eerste instantie misschien niet aan, waarschuwen fysicus Albert Polman en zijn oud-promovendi René de Waele en Ewold Verhagen voordat ze hun laatste resultaten laten zien. Want raar is het. Licht dat achteruit beweegt. Lenzen zonder bolling of holling, die toch een perfect beeld geven, desnoods op nanometerschaal. Bolle lenzen zonder brandpunt. Onzichtbaarheidsmantels. Licht, kortom, dat zich volkomen tegendraads gedraagt. Ga er maar aan staan om dat uit te leggen. Maar het kan. Sterker nog: het gebeurt. Gewoon hier in het fonkelnieuwe appelgroene laboratorium Amolf in de Watergraafsmeer aan de rand van Amsterdam. 'We denken echt dat we een nieuw gebied voor de optica hebben aangeboord', zegt Amolf-directeur Polman, tevens leider van de onderzoeksgroep fotonische materialen van het lab.

Zijn collega-fysici elders in de wereld lijken dat ook te denken. Het drietal was onlangs op een conferentie in San Francisco, waar ze werden besprongen om hun bevindingen. Afgelopen zondag verschenen die in *Nature Materials*, en op de conferentie mochten ze in weerwil van een embargo al worden toegelicht. 'Iedereen wil met ons samenwerken, maar het hangt er natuurlijk van af wat ze ons te bieden hebben', glimlacht Polman. Metamaterialen heet het veld waarin de Amsterdammers nu even alle aandacht op zich gericht weten: materialen waarmee elektromagnetische straling – bijvoorbeeld licht – tot onnatuurlijk gedrag wordt gebracht. In de natuur beweegt licht zich voorwaarts, geven alleen gekromde lenzen of spiegels afbeelden en bestaat de onzichtbaarheidsmantel van Harry Potter uitsluitend in fantasie. In de wereld van de metamaterialen is dat allemaal anders. Op zichzelf is dat niet echt nieuw. Al

sinds de jaren negentig hebben theoretici laten zien dat er meer mogelijk is in de interacties van materie en elektromagnetische golven dan waartoe de natuur zich beperkt. De Brit John Pendry schetste als eerste een soort maliënkolders van slim gedimensioneerde koperen ringetjes en staafjes, waarin radiogolven zich volkomen tegennatuurlijk gedragen. In het samenspel van licht of radiogolven en materie is de brekingsindex het sleutelbegrip, een getal dat aangeeft wat een schuin invallende lichtstraal doet. In glas bijvoorbeeld maakt een invallende lichtstraal een knik aan het oppervlak en buigt dan wat scherper naar beneden. Radiogolven doen hetzelfde. Daardoor buigt een schuin invallende radiogolf een beetje schuiner een normaal materiaal in. De brekingsindex is dan, net als bij glas, positief. Maar als de elektromagnetische golf in de maliënkolder van Pendry's metamateriaal wordt opgevangen, gaat dat heel

anders. De elektromagnetische golven duiken niet een beetje steiler het materiaal in, maar lijken haast op een muur terug te stuiten, waardoor ze zelfs nog verder dan verticaal het materiaal in gaan. In dat geval is de brekingsindex negatief. Negatieve brekingsindices zijn voor natuurkundigen op papier geen enkel probleem. Zij kunnen met hun formules precies aangeven wat er met elektromagnetische straling gebeurt die in die situatie verzeild raakt. Maar, was lang de vraag, bestaan er ook werkelijk materialen die zich zo bizar gedragen? Pendry concentreerde zich op radiogolven, en dat was geen willekeur, maar pragmatisme. In een tastbaar metamateriaal moeten de cruciale afmetingen kleiner zijn dan de lengte van de golven die erin vallen, anders werkt het niet. En dan zijn radiogolven, met hun verhoudingsgewijs grote golflengte, eerste keus. De structuren in het materiaal hoe-

ven dan niet onmogelijk klein te zijn. Een stelsel van in elkaar geknutselde metalen ringetjes en staafjes volstaat al. Ziedaar ook meteen de belangrijkste ontwikkeling binnen de metamaterialen over de laatste tien jaar, zegt Polman. 'Tot ongeveer 2007 zag je hoe de afzonderlijke resonatoren met allerlei technieken worden verkleind. Maar ook dat het steeds lastiger wordt en de boel stagneert. Eigenlijk zijn we een paar jaar aan de rand van het zichtbare licht blijven steken. We konden de benodigde materialen gewoon net niet construeren. Ik weet van groepen die zijn afgehaakt omdat er niet genoeg voortgang meer mogelijk leek.' Toch bieden metamaterialen juist voor zichtbaar licht enorme mogelijkheden, bijvoorbeeld omdat er schakelaars

De echte optische proeven moeten nog komen



p1

en versnellers mee te maken zouden zijn voor glasvezelcommunicatie. Juist in die technologie bestaat er een enorme behoefte aan materialen met regelbare optische eigenschappen. Nu zijn steeds elektronische tussenstappen nodig. Metamaterialen zouden het licht rechtstreeks kunnen manipuleren.

Een andere toepassing die in elk geval bij wetenschappers tot de verbeelding spreekt, is het gebruik van metamateriaal als perfecte lens op nanometerschaal. Nu is het uitgesloten om met gewoon licht afbeeldingen te maken van bijvoorbeeld dna-moleculen. De brekingswetten voor gewone lenzen werken niet meer op die schaal. Maar uit berekeningen, onder meer bij Amolf, blijkt dat metamaterialen die mogelijkheden wel bieden. Uiteraard is dat nog maar op papier, maar de mogelijkheid is opwindend, zegt Polman.

Dat de Amsterdammers nu als eersten dat gebied lijken open te leggen, komt

door de technieken die het Amolf-lab in huis heeft om op nanometerschaal (afmetingen tot een miljoenste millimeter klein) structuren te maken in bijvoorbeeld silicium. Het Amolf heeft daarvoor in de loop der jaren in zijn cleanrooms een heel machinepark gebouwd, met steun van FOM en het NanoNED-initiatief.

Het metamateriaal dat nu de aandacht trekt, is een zilverlaagje waarin op vaste afstanden tunneltjes zijn gemaakt, met centraal daarin weer een zilveren nanodraad. Lichtgolven die in de ene tunnel dringen, veroorzaken ook golven in de metalen tunneltjes eromheen, en wel zo dat er een gecombineerde lichtgolf wordt doorgeleid. Het stelsel is zo vormgegeven, dat de elektromagnetische golven zich tegendraads gedragen.

Het systeem wordt gemaakt door eerst in silicium een woud van holle nanozuiltjes aan te brengen en daarna de open ruimten op te vullen met zilver. Daarna wordt het oppervlak glad geëtsd.

In *Nature Materials* beschrijft de Amsterdamse groep, samen met onderzoekers van Caltech in Pasadena, hoe het ge-



Water en metawater

In normaal water of glas loopt licht langs wegen die we allemaal kennen. Een rietje in een glas water (links) heeft de vertrouwde schijnbare knik bij het oppervlak. In een glas denkbeeldig metawater (rechts), waarin licht zelfs achteruit kan bewegen, is alles anders. In 2006 berekenden Duitse onderzoekers hoe dat eruit ziet.

produceerde materiaal eruitziet en wat het zou moeten doen. Maar eerlijk is eerlijk: echte optische experimenten zijn er nog niet mee gedaan.

Dat is vooral een kwestie van strategie, legt Polman uit. 'Ik heb de editors vooraf gezegd: dit is pas de theorie, het moet allemaal nog worden gemeten. Maar ze wilden het toch graag hebben. Dat iemand anders de theorie van deze structuur als eerste beschrijft – eerder dan wij – is een reële mogelijkheid. Dat iemand nu als eerste de experimenten doet, is veel minder waarschijnlijk.'

Stilzwijgen

Of Amolf de proeven al doet, willen de onderzoekers nog even niet kwijt. Er zijn wat publicaties in voorbereiding. Een serieus tijdschrift eist dat daarover vooraf het absolute stilzwijgen wordt bewaard.

De afmetingen van de Amsterdamse zilverstructuur zijn zo gekozen, dat ze bij zichtbaar licht actief zijn. In computersimulaties komen opmerkelijke eigenschappen naar voren, waarbij vooral opvalt dat een schuin invallende lichtstraal niet steiler het materiaal in duikt,

zoals in glas zou gebeuren, maar haaks achterwaarts. Daarbij lijkt de golf achteruit te lopen. Ook opvallend: het materiaal werkt voor licht uit bijna alle richtingen, hoewel de lichtgolven zich door de verticale tunneltjes moeten persen.

Verreweg de meest tot de verbeelding sprekende toepassing van metamateriaal zoals het Amsterdamse gaatjesilver is volgens de makers dat je er een onzichtbaarheidsmantel van kunt fabriceren. Daarvoor zou een voorwerp in een schil van metamateriaal moeten worden geplaatst. Licht van achter het voorwerp kan zich in dat geval door het oppervlak van de schil naar de voorkant bewegen. Een waarnemer ziet dan niet het voorwerp, maar gewoon de achtergrond: het principe van onzichtbaarheid.

Vooralsnog past Harry Potter nog niet in het systeem, zeggen De Wael en zijn collega Ewold Verhagen, beide net gepromoveerd op de interactie van licht en metamaterialen. 'Militaire labs kijken met argusogen naar metamaterialen. Maar dat interesseert ons niet zo. Een microscoop waarmee je op nanoschaal kunt zien, is veel spannender.'