

NIJMEEGSE FYSICI METEN QUANTUMEFFEKT BIJ KAMERTEMPERATUUR

Warm dankzij sterk veld

In een superdun potloodstreepje treedt al bij kamertemperatuur het quantum Hall-effect op, tot verbazing van fysici.

Rob van den Berg

DE QUANTUMFYSICA laat haar werking meestal alleen onder extreme omstandigheden zien: in de allerkleinste, atomaire structuren of bij temperaturen vlak boven het absolute nulpunt. Onlangs echter hebben natuurkundigen van het Laboratorium voor Hoge Magneteelden (HFML) in Nijmegen, met collega's uit Engeland en de Verenigde Staten een quantumeffect waargenomen bij kamertemperatuur (*Science Express*, 15 februari). Dit quantum Hall-effect – in de afgelopen twintig jaar al twee keer goed voor een Nobelprijs – verschaft niet alleen telkens weer nieuw inzicht in de quantumtheorie, maar biedt tegelijk een ongekennd nauwkeurige basis voor de eenheid van elektrische weerstand.

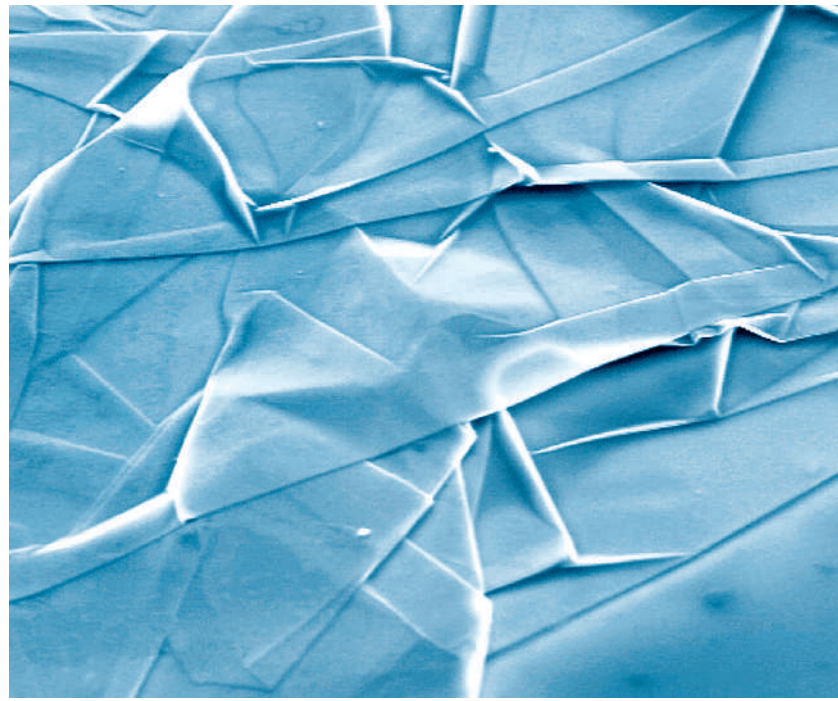
Jan Kees Maan, directeur van het HFML, is daarom erg opgetogen over deze ontdekking: "Laboratoria met magneten die grote magneteelden kunnen opwekken zijn relatief kostbaar en dan is het fijn als we de verwachting naar wetenschappelijke doorbraken waar kunnen maken."

Het quantum Hall-effect, voor het eerst waargenomen in 1980 door de Duitse fysicus Klaus von Klitzing, is de quantum-tegenhanger van een verschijnsel dat de Amerikaanse natuurkundige Edwin Hall al in 1879 ontdekte. Toen hij een elektrische stroom door een dun metaal plaatje leidde, en loodrecht op het plaatje een magneteveld aanlegde, ontstond er een spanningsverschil over de uiteinden van het plaatje – dwars op de stroomrichting. Dat komt doordat de elektronen in het magneteveld een Lorentz-kracht ondervinden – genoemd naar de Nederlandse natuurkundige Hendrik Antoon Lorentz – en worden afgebogen. De grootte van de Hall-spanning is kenmerkend voor het gebruikte materiaal en neemt evenredig toe met de sterkte van het magneteveld.

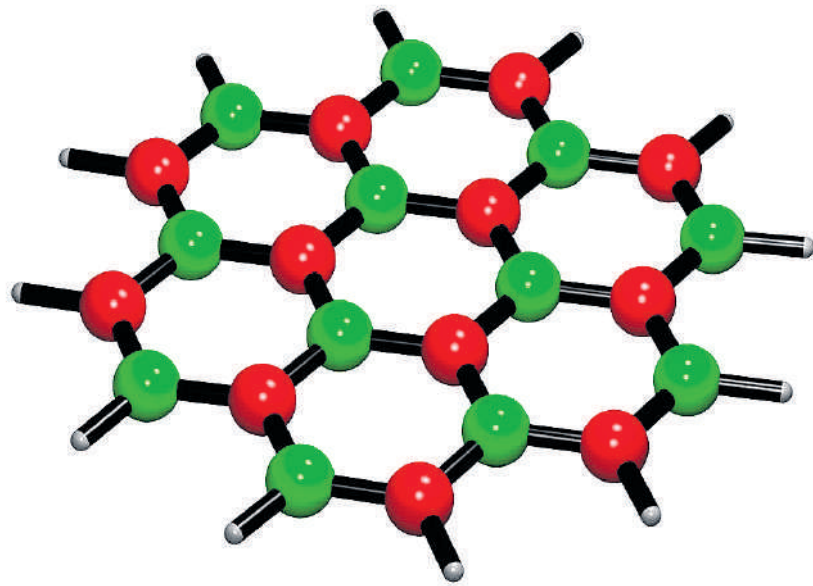
GOLVEN Von Klitzing deed honderd jaar later het experiment van Hall over in een flinterdun plaatje halfgeleider bij temperaturen vlak boven het absolute nulpunt. Onder die omstandigheden gedragen elektronen zich niet langer als

deeltjes, maar als golven. Dat heeft grote gevolgen voor de Hall-spanning. Die neemt niet langer gelijkmatig toe met het magneteveld, maar verandert sprongsgewijs. Er ontstaan een aantal plateaus. Von Klitzing liet zien dat op die plateaus de elektrische weerstand precies gelijk is aan 25.812,807 ohm, een getal dat gelijk is aan de constante van Planck, gedeeld door het kwadraat van de elektronlading. Deze weerstandswaarde kan met een precisie van één op de biljoen (een één met twaalf nullen) gemeten worden. Het quantum Hall-effect levert zo een nieuwe standaard voor de elektrische weerstand op, die sinds 1990 de Von Klitzing constant wordt genoemd.

DRIE BUREN Eind 2005 slaagden twee groepen onderzoekers (een van de universiteit van Manchester en een van Columbia University in New York) er onafhankelijk van elkaar in om het quantum Hall-effect bij lage temperaturen te meten in grafen, een vorm van koolstof – na de buckyballen en de buckybuisjes



• Grafen is een plat netwerk van koolstofatomen (links). De kleuren zijn voor het mooit, net als de elektronenmicroscopische foto van grafen (boven). FOTO'S FOM



– die door zijn exotische eigenschappen de wetenschappelijke wereld op zijn kop zet. Grafen is de eenlagige vorm van grafiet: een platte verbinding van koolstofatomen, elk met drie burenen. Omdat een koolstofatoom vier elektronen beschikbaar heeft om bindingen aan te gaan, heeft een van die elektronen vrij spel. In grafiet liggen die laagjes op elkaar. De vrije elektronen maken grafiet tot een goede geleider. Tot voor kort was het alleen onmogelijk om één zo'n laagje in handen te krijgen,

maar in 2004 slaagden onderzoekers van de universiteit van Manchester er wel in, door met plakband een stukje grafiet laag voor laag af te pellen tot er grafen over was.

Het was op zich niet verwonderlijk dat het quantum Hall-effect ook in zo'n dun atomaire laagje optrad. Al snel werd echter duidelijk dat de elektronen in grafen zich anders gedragen dan in ieder ander dun laagje: ze kunnen zich bijna volledig vrij bewegen en hebben nauwelijks last van de omringende

koolstofatomen. Dat wees erop dat het quantum Hall-effect zich ook wel eens bij veel hogere temperaturen zou kunnen voordoen. Maar daarvoor was wel een heel sterk magneteveld nodig. Daarom wendden beide onderzoeksgroepen zich tot laboratoria waar extreem hoge magneteelden kunnen worden opgewekt. De Amerikanen togen naar het National High Magnetic Field Laboratory in Tallahassee, Florida, waar de magneten maximaal 45 Tesla kunnen leveren, terwijl de Engelsen het kanaal overstaken naar Uli Zeitler van het HFML in Nijmegen, goed voor zo'n 33 Tesla. Omdat de metingen van beide groepen ongeveer op hetzelfde moment succesvol waren, werd besloten de resultaten gezamenlijk te publiceren.

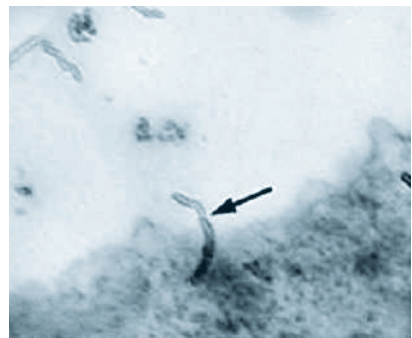
STANDAARD "Het is voor een quantum Hall-fysicus een werkelijk verbazingwekkende ontwikkeling", vertelt Uli Zeitler. "Ons onderzoek ging de afgelopen jaren naar steeds lagere temperaturen en steeds geavanceerde materialen en nu meten we opeens zo'n elementair quantumeffect gewoon bij kamertemperatuur." Praktisch gezien lijkt het er op dat er voor het eerst een standaard voor een fysische constante (de ohm) bij kamertemperatuur en tamelijk makkelijk meetbaar wordt.

Nanobuisjes prikken zich door celwand naar binnen

Nanobuisjes met kleine moleculen eraan vast kunnen als een naald cellen binnendringen. De buisvormige moleculen van koolstofatomen blijken de celwand van uiteenlopende celtypen te kunnen doorboren, onafhankelijk van het type moleculen dat eraan verbonden is. (*Nature Nanotechnology*, februari)

Die aanhangende moleculen kunnen ook medicijnen zijn die op deze manier in de cel worden afgeleverd, volgens hoofdautheur Kostas Kostarelos van de universiteit van Londen. Kennelijk nanobuisjes cellen binnendringen zonder die te beschadigen. Ook voor de toxicologie is de vondst belangrijk. De nanobuisjes kunnen de nor-

male cellulaire processen van transport door het celwandmembran blijkenbaar omzeilen. In een toelichting per e-mail erkent Kostarelos dat de openstelling van de nanobuisjes in cellen mogelijk giftig is. Maar dat nanobuisjes in een cel op de lange termijn schadelijk zijn is volgens hem nog geen uitgemaakte zaak. De onderzoekers bestudeerden nanobuisjes met verschillende eenvoudige moleculen, waaronder fluorescerende verbindingen. De fluorescerende aanhangsels maakten het mogelijk om de buisjes in de cellen te volgen, de eenvoudige moleculen verhoogden de oplosbaarheid van de nanobuisjes. Kale nanobuisjes zijn onge-schikt voor biologische experimenten, omdat ze neerslaan als een zwarte massa. Normaal gesproken nemen cellen materiaal van de grootte van nanobuisjes op door endocytose, een proces waarbij het celmembran zich rond het materiaal sluit en het mee de cel inneemt. Maar de nano-



• Een nanobuisje doorbreekt het celmembran van een menselijke kanker-cel. Om dit met de elektronenmicroscop te fotograferen wordt de cel eerst kapotgemaakt. ANGEWANTE CHEMIE

buisjes kwamen cellen binnen als endocytose onmogelijk werd gemaakt met natriumazide (NaN₃). De nanobuisjes drongen

ook cellen binnen die geen endocytose kunnen uitvoeren zoals gistcellen of bacteriecellen. Kostarelos heeft de door de celwand prikkende nanotubes vastgelegd met een elektronenmicroscop. Hij sluit echter niet uit dat nanobuisjes ook op andere manieren de cel kunnen binnendringen. De resultaten van Kostarelos zijn in strijd met eerder onderzoek van Nadine Wong Shi Kam (Stanford University). In het *Journal of the American Chemical Society* schreef Kam in 2005 dat de opname van nanobuisjes met moleculen eraan vast fors afneemt als endocytose wordt gefrustreerd. Kostarelos oppert dat de nanobuisjes samenklonteren als gevolg van interactie tussen eiwitten die Kam eraan verbond. Zo zouden klonters van nanobuisjes zijn ontstaan die wel door endocytose werden opgenomen. **Michiel van Nieuwstadt**

Een hoed zonder hoofd

ARTIKEL 7 VAN DE Nederlandse grondwet verbiedt censuur vooraf. Iedereen mag via de drukpers gedachten of gevoelen openbaren 'behoudens ieders verantwoordelijkheid voor de wet'. Daar zitten we mooi mee. Want is deze mooie wetstekst, die nog stamt uit de Franse Revolutie, niet een lege zak geworden? Een verfromfaaide lampion na een St. Maartensoptocht? De prullebak met cadeaupapier na pakjesavond? Een leeggeblazen ei? Een uitgeholde pompoen? Een hoed zonder hoofd? Nee, er is officieel geen censuur in Nederland. En dan staat er eenvoudig op 13 februari 2007 in de Nederlandse krant dat er vier wetenschappelijke artikelen van academici uit een bundel geweest zijn omdat deze de Turkse overheid onwelgevallig waren. Museumambtenaren blijken zelfcensuur toe te passen, uit angst voor intrekking van subsidies, of omdat ze bang zijn anders bepaalde moeie voorwerpen niet te mogen exposeren. Zelfcensuur is in zekere zin kwaadaardiger dan openlijke censuur. Als wetenschappers of journalisten bepaalde onderwerpen niet meer aan durven te snijden, is de vrije

meningsuiting bedrieglijk. De halve-hoed wordt norm, terwijl bij staatscensuur iedereen duidelijk weet dat de pers niet te vertrouwen is. Staatscensuur nodigt uit tot verzet, tot publicaties buiten de goedgekeurde pers om. Zelfcensuur daarentegen verdoezelt wat er eigenlijk aan de hand is, en maakt het uiterst moeilijk om te beoordelen of ergens al dan niet vrij over geschreven is.

Nu is niet elke vorm van zelfcensuur te veroordelen, integendeel. Ik zou er erg voor zijn als banaliteit, ordinairheid en platvloersheid beperkt bleven tot de eigen huiselijke sfeer en niet via drukpers, tv of web bij mij in huis komen. Ik zou zelfs verder dan zelfcensuur willen gaan als het slechte smaak betreft, in dit dwaze land waar peepshows tot cultuur benoemd zijn. Platteheidscensuur in Hilversum, uitgevoerd onder een commissie met neefjes en schoonzussen van Balkenende en Rouvoert, ik zou er vierkant voor zijn. Maar er is iets fundamenteels aan de hand als hiërarchische overzichten van wetenschappers niet gepubliceerd worden, zoals gebeurd is bij de catalogus van de

Istanbul-tentoonstelling in Amsterdam. Dan dooft het licht, om met Van Randwijk te spreken.

De geschiedenis van de censuur is ouder dan die van de drukpers. Je zou verwachten dat pas de massale verspreiding van boeken en pamfletten de overheden beangstigd zou hebben. Censuur dus vanaf de uitvinding van de boekdrukkunst. Maar dat klopt niet: vanaf het moment dat ideeën opgeschreven werden, zijn er mensen om veroordeeld. Wie de eerste in de macabere rij is van schrijvers die om hun woorden de doodstraf kregen, zou ik niet weten. Socrates misschien, die jeugd bedierf en daarom de giftbeker moest drinken? Homerus' *Odyssee* werd door de Romeinen gecensureerd, Romeinse schrijvers werden op hun beurt weer verboden in de Middeleeuwen, en middeleeuwse kluchten werden in de negentiende eeuw verboden voor scholen. Humanisten kwamen op de index, en Luther werd in de kerkelijke ban gedaan. En die geschiedenis gaat maar door. Ook in Nederland en Vlaanderen. Jacob Israel de Haan ontslagen in het begin van de twintigste eeuw,

Marita Mathijsen



Van het Reve en Hermans kregen processen na de oorlog, Brusselmanns nog onlangs. Daar waar de censuur opgeheven leek te zijn, zijn er nog altijd aanklachten wegens belediging mogelijk, en anders komt de censuur wel weer terug in de vorm van zelfcensuur. In Nederland is er in twee periodes echte staatscensuur geweest, in de Franse en in de Duitse tijd. In de tijd dat Nederland ingelijfd werd bij Frankrijk, 1810, mocht er niets gepubliceerd worden dat niet eerst in Parijs was goedgekeurd. Slechts weinig uitgevergers kregen vergunning om te drukken, en maar enkele kranten en tijdschriften mochten verschijnen. De 'censuur imperial' beoordeelde alles. Schrijvers probeerden aan de censuur te ontkomen door te schrijven over het verleden. Lofzangen op Michiel de Ruyter werden zo verzetspoëzie. Met hun odes aan het onafhankelijke Nederland van vroeger, bekritiseerden de schrijvers de Franse overheersing. De dichter J.F. Helmers schreef in 1812 De Hollandsche natie, een lang gedicht over het ontstaan en de groei van Nederland. De keizerlijke censor schraptte honderd regels, verving er vijftig en eiste hier en daar pro-Fran-

se toelichtingen. Toen het boek eenmaal gedrukt was, werd het de autoriteiten duidelijk dat het boek nog veel anti-Franser was dan de censor gezien had. Er kwam een arrestatiebevel voor Helmers. Soldaten werden naar zijn woning in Den Haag gestuurd. Met veel geraas traden zij naar binnen, waar zij opgewacht werden door Helmers' zwaager, de dichter Adriaan Loosjes. Hij wees hun met een breed gebaar naar de bedstee. 'Ziedaar uw gevangene...' Helmers die nacht overleden.

Koning Willem I herstelde direct na zijn aantreden de wet op de vrije pers. Terwijl in Duitsland elk staatszijn eigen censor had, die bijvoorbeeld de werken van Heinrich Heine verbood, hield Willem I zich staande tegen herhaalde verzoeken van religieuze groeperingen om de drukpers te beknotten. Willem's opvolgers hadden hun eigen oplossingen voor kritische journalis-

ten: zij kochten ze om en betaalden een enkele reis Parijs of Batavia. De geschiedenis van de Duitse censuur is velen nog bekend uit eigen ervaring. Niet alleen boeken van Joodse schrijvers werden verboden, zelfs een onschuldige kinderboek als *Dik Trom* van Joh. Kievit mocht niet verkocht worden, omdat een jongetje ergens uitroep: 'leve de koningin'. Sinds eind 1942 mochten alleen leden van de Kulturkamer publiceren, maar dat verhinderde niet dat er op allerlei plaatsen in het land clandestien drukwerk verscheen. Maar de bezetter moeilijk gemaakt om te ontdekken welke drukkerij een bepaald werkje gezet en gedrukt had, want de illegalen gebruikten massaal hetzelfde type letter.

De Duitsers publiceerden lijsten van verboden boeken, net als de katholieke kerk het deed in de Index Librorum Prohibitorum. In de eerste druk van de Index uit 1559 was het zelfs verboden om bijbels in de landstaal in bezit te hebben. Maar de katholieke kerk had lang niet altijd de middelen om tot werkelijke vervolging over te gaan. Dreigen met hel en eeuwige verdoemenis moest de roomsen ervan af houden om Rousseau, De Sade en Voltaire te lezen. Die werden in Nederland gedrukt, omdat de drukpers in de Republiek vrij was. Maar er was toen minder tolerantie dan over het algemeen aangenomen wordt. Het schrijven zelf kon niet bestraft worden, maar wel het publiceren en verspreiden. Geregeld werden drukkers van oproerige geschriften gevangengezet. Vondel was zijn hele leven in conflict met de overheid. Zijn Palame-

des werd verboden, alle exemplaren werden opgehouden bij de boekhandel, en Vondel dook onder om niet gearresteerd te worden. De opvoering van Lucifer werd verboden. De Gysbregt van Aemstel censureerde hij zelf, nadat de autoriteiten hem onder druk gezet hadden.

I S vrijheid van drukpers misschien een overleefde verworvenheid? Moet alles geschreven kunnen worden op de drie gebieden waar de censuur zich altijd mee bemoeit: seks, godsdienst en politiek? Onze voorouders uit de Verlichting, en de vrijbuiters van de jaren zestig hebben er zo voor gestreden, en nooit is die helemaal gerealiseerd. Is het een illusie dat de vrije pers in een vrij land onomstreden is? Is voorzichtigheid, en dus zelfcensuur, verstandiger dan onplooibaar vasthouden aan vrije meningsuiting? Heel Hilversum, alle journalisten weten dat je soms beter zwijgt. Beter luf dan lijf, denkt men na 11.9.2.11.6.5, en na de excommunicatie van Hirs Ali. En ik kan daar bergrpre voor opbrengen. Maar als ook wetenschappers feitelijke informatie moeten verzervigen of verdraaien, in een democratie, dan is er een grens overschreden. Dan is zelfcensuur geen voorzichtigheid meer, maar aanpassing van de menselijke waarde en waarheid. 'En toch draait de aarde,' zou, volgens een mooie legende, Galilei na zijn veroordeling hebben gezegd. Hij zou nu zeggen: 'En toch is Istanbul door de Grieken gesticht.'

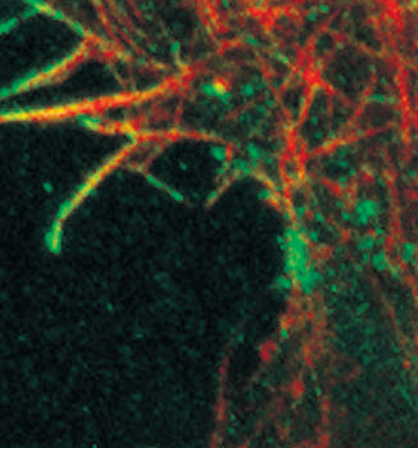
pour faire les prières, que de faire échouer son dessein; il se contenta de les engager à rendre au vrai Dieu le culte qu'ils rendoient dans ce même lieu à leurs idoles, et de changer les circonstances de ce Culte, qu'il crut pouvoir donner du scandale'. **Wim Klever** Capelle aan den IJssel

Sexy chromosomen Onze inzending, het project seXY chromosomen, komt ruim aan bod in de bijlage over de Academische Jaarprijs, maar het artikel bevat ook enkele 'journalistische vrijheden' (20 januari). Zo wordt in

een koptekst het X chromosoom een vrouwelijk chromosoom genoemd, en dat klinkt wel leuk, maar het is misleidend. Mannen hebben immers ook een X chromosoom in vrijwel iedere cel van hun lichaam, en mannen zouden zonder X niet kunnen leven en zelfs geen man kunnen zijn. Het X chromosoom verenigt 'vrouwelijk' en 'mannelijk' in zich, voor zover die termen op chromosomen van toepassing kunnen zijn. In ieder geval blijkt dat wij ons onderwerp goed hebben gekozen, want er valt nog voldoende te leren over vrouwelijk en mannelijk, en niet alleen voor het bredere publiek. **J. Anton Grootgoed** Erasmus MC

Het klimaat als spelletje In de bijlage Academische Jaarprijs van 20 januari komt hoogleraar milieuwetenschappen Pier Vellinga aan het woord. In het kader van een te ontvullen klimaatgame spreekt hij over 'good guys' en 'bad guys'. Laatsgenoemden zijn dan de

menselijk lichaam wemelt van de cellen die op stap willen. Nieuwe zenuwcellen, uitbreidende bloedvaatjes, overal groeit en krioelt het en zoekt het zich een plaats binnen bestaande structuren. Maar hoe doen ze dat? Aan de celzijde die naar nieuwe gebieden is gericht ontstaan uitstulpingen: filopodia. Daaraan ontwikkelen zich op beslissende momenten een soort afwasborstels van moleculaire vezels (actinopolymeren, rood op de foto) die aan hun uiteinden integrinmoleculen (groen) zodanig richten dat die contact kunnen maken met nieuwe hechtingsplaatsen (Science, 16 februari). De polymeevorming is het snelst in de gewenste richting, maar varieert wat zijwaarts om geen bindingsmogelijkheden onbenut te laten. Cellen verplaatsen zich zo met een snelheid van ongeveer een duizendste millimeter per minuut. (WK) **FOTO SCIENCE/NIH**



Het menselijk lichaam wemelt van de cellen die op stap willen. Nieuwe zenuwcellen, uitbreidende bloedvaatjes, overal groeit en krioelt het en zoekt het zich een plaats binnen bestaande structuren. Maar hoe doen ze dat? Aan de celzijde die naar nieuwe gebieden is gericht ontstaan uitstulpingen: filopodia. Daaraan ontwikkelen zich op beslissende momenten een soort afwasborstels van moleculaire vezels (actinopolymeren, rood op de foto) die aan hun uiteinden integrinmoleculen (groen) zodanig richten dat die contact kunnen maken met nieuwe hechtingsplaatsen (Science, 16 februari). De polymeevorming is het snelst in de gewenste richting, maar varieert wat zijwaarts om geen bindingsmogelijkheden onbenut te laten. Cellen verplaatsen zich zo met een snelheid van ongeveer een duizendste millimeter per minuut. (WK) **FOTO SCIENCE/NIH**

Het menselijk lichaam wemelt van de cellen die op stap willen. Nieuwe zenuwcellen, uitbreidende bloedvaatjes, overal groeit en krioelt het en zoekt het zich een plaats binnen bestaande structuren. Maar hoe doen ze dat? Aan de celzijde die naar nieuwe gebieden is gericht ontstaan uitstulpingen: filopodia. Daaraan ontwikkelen zich op beslissende momenten een soort afwasborstels van moleculaire vezels (actinopolymeren, rood op de foto) die aan hun uiteinden integrinmoleculen (groen) zodanig richten dat die contact kunnen maken met nieuwe hechtingsplaatsen (Science, 16 februari). De polymeevorming is het snelst in de gewenste richting, maar varieert wat zijwaarts om geen bindingsmogelijkheden onbenut te laten. Cellen verplaatsen zich zo met een snelheid van ongeveer een duizendste millimeter per minuut. (WK) **FOTO SCIENCE/NIH**

Het menselijk lichaam wemelt van de cellen die op stap willen. Nieuwe zenuwcellen, uitbreidende bloedvaatjes, overal groeit en krioelt het en zoekt het zich een plaats binnen bestaande structuren. Maar hoe doen ze dat? Aan de celzijde die naar nieuwe gebieden is gericht ontstaan uitstulpingen: filopodia. Daaraan ontwikkelen zich op beslissende momenten een soort afwasborstels van moleculaire vezels (actinopolymeren, rood op de foto) die aan hun uiteinden integrinmoleculen (groen) zodanig richten dat die contact kunnen maken met nieuwe hechtingsplaatsen (Science, 16 februari). De polymeevorming is het snelst in de gewenste richting, maar varieert wat zijwaarts om geen bindingsmogelijkheden onbenut te laten. Cellen verplaatsen zich zo met een snelheid van ongeveer een duizendste millimeter per minuut. (WK) **FOTO SCIENCE/NIH**

Het menselijk lichaam wemelt van de cellen die op stap willen. Nieuwe zenuwcellen, uitbreidende bloedvaatjes, overal groeit en krioelt het en zoekt het zich een plaats binnen bestaande structuren. Maar hoe doen ze dat? Aan de celzijde die naar nieuwe gebieden is gericht ontstaan uitstulpingen: filopodia. Daaraan ontwikkelen zich op beslissende momenten een soort afwasborstels van moleculaire vezels (actinopolymeren, rood op de foto) die aan hun uiteinden integrinmoleculen (groen) zodanig richten dat die contact kunnen maken met nieuwe hechtingsplaatsen (Science, 16 februari). De polymeevorming is het snelst in de gewenste richting, maar varieert wat zijwaarts om geen bindingsmogelijkheden onbenut te laten. Cellen verplaatsen zich zo met een snelheid van ongeveer een duizendste millimeter per minuut. (WK) **FOTO SCIENCE/NIH**

Het menselijk lichaam wemelt van de cellen die op stap willen. Nieuwe zenuwcellen, uitbreidende bloedvaatjes, overal groeit en krioelt het en zoekt het zich een plaats binnen bestaande structuren. Maar hoe doen ze dat? Aan de celzijde die naar nieuwe gebieden is gericht ontstaan uitstulpingen: filopodia. Daaraan ontwikkelen zich op beslissende momenten een soort afwasborstels van moleculaire vezels (actinopolymeren, rood op de foto) die aan hun uiteinden integrinmoleculen (groen) zodanig richten dat die contact kunnen maken met nieuwe hechtingsplaatsen (Science, 16 februari). De polymeevorming is het snelst in de gewenste richting, maar varieert wat zijwaarts om geen bindingsmogelijkheden onbenut te laten. Cellen verplaatsen zich zo met een snelheid van ongeveer een duizendste millimeter per minuut. (WK) **FOTO SCIENCE/NIH**