

Marieke Postma en
Mischa Sallé

"De Berry-fase bevat eigenlijk maar één nieuw idee"

Interview Michael Berry

Er zijn niet veel mensen die geridderd worden vanwege hun verdiensten in de Natuurkunde. Sir Michael Berry is één van hen. Daarnaast is hij ook nog erelid van de 'Royal Society of London'. En dit alles vanwege de ontdekking van de Berry-fase. Afgelopen maand was Berry in Nederland voor een aantal lezingen.

"Ergens in de prehistorie groeide ik op in Londen, maar ik was toen al geboeid door de natuur. Ik vond het heerlijk naar de sterren te kijken. Nu heb ik eindelijk een telescoop, maar in Bristol is het of te bewolkt of is er teveel strooilicht. Hoewel ik vooral hield van wiskunde en sterrenkunde, ben ik natuurkunde gaan studeren. Nu doe ik het allemaal tegelijkertijd. Ik ben gepromoveerd in Exeter, in de buurt van Southampton. En daarna ging ik naar Bristol. Al met al zit ik hier langer dan eigenlijk goed voor me is.

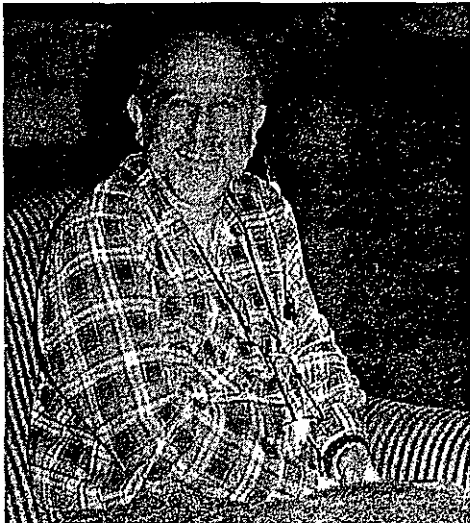
"Ik heb ook een tijdje in Utrecht gezeten; ik bekleedde als gastprofessor de Kramer-leerstoel van 1980 tot 1981. Het was wel een aangename tijd, maar een beetje teleurstellend. Ik had het in Bristol erg druk met colleges en dacht veel te ontdekken, aangezien ik in Utrecht vrijgesteld van lessen zou zijn. Ik had inderdaad een goed jaar, schreef veel papers, maar had niet veel inspiratie. Vreemd is dat, ik weet niet precies waar het door kwam. Terug in Bristol en overladen met werk kreeg ik

direct veel nieuwe ideeën. Daarom was ik ook terughoudend een onderzoeksaanstelling bij de Royal Society te accepteren. Gelukkig viel het mee. Eerst was ik fellow van de Royal Society en betaalde ik hun, nu ben ik professor en betalen zij mij. Veel meer natuurlijk!

"Voor mijn natuurkundig werk heb ik de titel 'sir' gekregen. Meestal moet je voor zo'n titel zitting nemen in allerlei commissies, maar dat heb ik nooit gedaan. Ik begrijp die dingen nooit zo goed. Ze zeiden dat het voor 'natuurkundige verdiensten' was, wat dat ook mag betekenen. Het is een eer. En je ontmoet de koningin."

"Ik ben bekend geworden door de Berry-fase, maar het is zeker niet het beste wat ik gedaan heb. Het bevat eigenlijk maar één nieuw idee. Het probleem van een artikel met veel nieuwe ideeën is dat mensen eroverheen lezen. Focus je je daarentegen op één nieuw ding dan gebeurt dat niet. "Het idee van de Berry-fase is eigenlijk al heel oud. Pancharatnam, een neef van Rad (Radakrishnan -red) heeft in de jaren '50 een speciaal geval van de fase in de optica behandeld. Op die manier wordt veel werk aan mij toegeschreven waar ik bijna niets mee te maken heb. Mensen zijn geneigd ergens een naam aan te geven en op die manier alle aandacht op één persoon te vestigen. Dat maakt het grijpbaarder, maar het is slechte geschiedschrijving. Net als bij de Maxwell vergelijkingen, ze dragen nog steeds zijn naam, maar in de vorm waarin hij ze opschreef zou je ze niet herkennen. De huidige vorm is vermoedelijk van Lorentz afkomstig.

"Het is prettig als je naam ergens mee geassocieerd wordt, maar ik heb vele andere dingen gedaan. Ik heb bijvoorbeeld een boek geschreven over kosmologie. Dat zat zo: op een gegeven moment werd het vak algemene relativiteitstheorie erg populair. De microgolf-achtergrondstraling stond volop in de belangstelling en er werd se-



Michael Berry

rieus over zwarte gaten gesproken. Ik gaf college aan studenten. Omdat ik geen enkel boek echt goed vond, schreef ik maar mijn eigen dictaat. "De standaard-leerboeken beschrijven gekromde ruimte en tijd met tensoren. Gegoochel met indicies omhoog en omlaag halen, metrieken enzovoort. Dat is wel belangrijk, maar het geeft geen inzicht. Een twee-dimensionale ruimte kun je je voorstellen en beschrijven zonder tensoren. De meeste klassieke oplossingen zijn bolsymmetrisch, zoals het homogene heelal en de ruimte rond een ster. Je kunt deze symmetrie gebruiken om twee van de vier dimensies eraf te slopen. Je beschrijving is correct, je kunt zelfs voorspellingen doen zonder ook maar één tensor te gebruiken. De studenten waren zo enthousiast dat ik besloot mijn collegedictaat op te sturen naar Cambridge University Press. Hoewel het boek geen moderne onderwerpen behandelt als *inflatie* en *fractale heelallen*, verkoopt het nog steeds."

"Ik ben gepromoveerd op een onderwerp dat te maken heeft met breking van licht door geluidsgolven. Mijn begeleider interesseerde zich voor bepaalde wiskundige benaderingen, en dacht dat ze hierop toegepast konden worden. Dat bleek dus niet te kunnen. Ik heb het probleem toen maar zelf opgelost. Het is daarna zelfs gepubliceerd. Ik heb er veel wiskundige truukjes van geleerd, maar was er verder niet meer zo mee bezig. Merkwaardigerwijs ben ik nu weer met datzelfde onderwerp bezig. Het blijkt dat je bij het bouwen van een vrije-elektron-laser precies hetzelfde probleem met dezelfde wiskunde tegenkomt. Zo word je ineens betrokken bij onderzoek waar je eigenlijk niets mee te maken hebt: verstrooiing van licht aan atomen. Je kunt alles aan alles verstrooien en het is allemaal dezelfde wiskunde.

"Wat ik nu doe heeft te maken met het talboteffect, genoemd naar Fox Talbot. Hij vond onafhankelijk van Daguerre rond 1830 de fotografie uit. Hij woonde in een groot landhuis in de buurt van Bristol, dat nu een museum is. Het naar hem genoemde effect neem je waar als je met een sterke lens naar een tralie kijkt. Alleen op bepaalde afstanden zie je een scherp lijnenpatroon, maar daartussen alleen een vaag plaatje. Dit effect staat plotseling weer in de volle belangstelling. Het blijkt veel fundamenteeler te zijn dan ik eerst dacht. Op bepaalde gehele afstanden krijg je dus een scherp beeld van je lijnenpatroon. Het blijkt dat je op fractionele rationale afstanden overlap-

pende beelden krijgt: het fractionele talboteffect. Eerst moest dat begrepen worden, iets waarvoor je de Gaussische reeksen uit de getaltheorie nodig hebt. Rijke getaltheoretische objecten, tot voor kort pure wiskunde. Vervolgens kan je kijken naar beelden op niet rationale afstanden. Dat levert zeer ingewikkelde fractals op, in elke richting verschillend.

"Er is een nieuwe theorie die de details van lichtverstrooiing beschrijft en die teruggrijpt op mijn werk uit de jaren '70. Het ging er toen allemaal om chaos en optische focusering te begrijpen. Je maakt hierbij gebruik van de wiskunde van de geometrische fase. In de jaren '60 had ik dezelfde problemen, maar ik beschikte nog niet over de wiskunde om de verschillende chaotische structuren te classificeren.

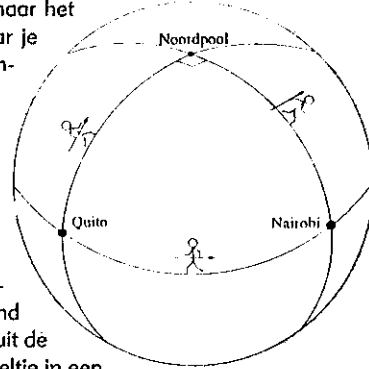
"Zojuist hebben we onze experimenten uitgebreid van monochromatisch licht naar wit licht. Prachtige plaatjes levert dat op. Op het web staat een foto die ik de foto zelf heb genomen. Het is lastig fotograferen hoor, je moet zeker een half uur belichten. Nu heb ik daar een onderzoeks-assistente voor die veel mooiere plaatjes maakt. De eerste experimenten doe ik altijd zelf om te zien of er wel wat gebeurt. Een beroemd experimenteel fysicus uit Bristol heeft als motto: 'First do it quick, then do it right'. Ik doe het liever snel."

"Het concept van de Berry-fase kwam voort uit veel algemener werk. Ik ben mijn hele leven al bezig in de schemerzone tussen de quantum en klassieke mechanica, tussen lichtgolven en lichtstralen. Een aspect van deze dualiteit is de quantum chaologie: hoe komt chaos in klassieke systemen tot uitdrukking in hun quantum tegenhangers. Deze quantum chaosbusiness is een breed vakgebied, het begon al in de jaren '70 en er werken een hoop mensen in.

"De kern van deze *quantum-chaologie* is de wiskunde van priemgetallen. Priemgetallen zijn de atomen van de getaltheorie. De hypothese van Riemann speelt hierin een belangrijke rol. Nu de laatste stelling van Fermat is bewezen is dit het belangrijkste onopgeloste probleem in de wiskunde. Het heeft er mee te maken of de Riemann zeta-functie nulpunten heeft op een zekere lijn. Dit heeft gevolgen voor priemgetallen. Nu lijkt het of deze nulpunten de energieniveaus van chaotische quantumsystemen zijn. Vind je een Hamiltoniaan die deze nulpunten als eigenwaarden heeft, dan zou je deze stelling bewezen heb-

De Berry-fase

Stel je voor je staat in Quito met een speer wijzend naar het noorden. Vervolgens loop je naar de noordpool, waar je rechtsaf slaat. Je houdt de speer echter in dezelfde richting, nu dus naar links. In Nairobi, terug op de evenaar, sla je wederom rechtsaf, naar Quito. Daar aangekomen merk je dat de speer nu naar het oosten wijst, terwijl je begon met de speer in noordelijke richting, een draaiing van 90 graden. Deze hoek is precies gelijkaan de ruimtehoek ingesloten door het pad dat je doorlopen hebt.



Nu naar de quantummechanica. De golf functie behorende bij een bepaalde quantummechanische toestand is gedefinieerd op een overall fasefactor na. Zo volgt uit de Schrödinger-vergelijking dat de golf functie die een deeltje in een energie eigentoestand beschrijft een fasefactor $e^{-iEt/\hbar}$ moet bevatten. De toestand van het deeltje verandert echter niet. Deze tijdsafhankelijke fasefactor wordt de dynamische fasefactor genoemd. Berry ontdekte dat er nog een andere fasefactor kan optreden, die alleen van de geometrie van het fysische systeem afhangt: de geometrische of Berry fase. Deze is het quantumanalogon van onze speer op wereldreis. Het schoolvoorbeeld is een deeltje met spin in een langzaam veranderend magneetveld. Als het deeltje spin twee eigentoestanden zitten: parallel en antiparallel aan het magneetveld. Stel dat hij begint in eigentoestand. Volgens het zogeheten adiabatische theorema zal hij dan in die eigentoestand blijven zitten zolang de verandering van het magneetveld maar langzaam genoeg is. Begon hij parallel aan het magneetveld, dan roteert hij mee, en blijft zo parallel. Als het magneetveld weer in zijn oorspronkelijke richting staat, zal het deeltje ook weer precies in de oorspronkelijke toestand zitten. Hij blijkt echter wel een extra fasefactor te hebben gekregen, en wel het product van de dynamische en de Berry fase. De Berry fase blijkt gelijk aan de ruimtehoek die het draaiende magneetveld heeft ingesloten, vermenigvuldigd met de eigenwaarde van de spincomponent langs het magneetveld (hier eenvoudig $1/2$): als het magneetveld loodrecht op de rotatie-as staat heeft het een ruimtehoek van 2π ingesloten en krijgen we een fasehoek van 2π maal $1/2$, oftewel een fasefactor -1 . Met behulp van dubbelspleetexperimenten is dit waar te nemen.

ben. We weten nog niet hoe deze operator er uit ziet, we kennen wel veel van zijn eigenschappen, bijvoorbeeld dat hij chaotisch is, niet symmetrisch onder tijdsomkering en ook de klassieke limiet kennen we. Op grond hiervan kunnen we allerlei voorspellingen doen, waar de wiskundigen nog geen weet van hebben. Andersom vertelt de wiskunde ons veel nieuws over de quantummechanica. Ik werk in dit prachtige gebied waar quantummechanica, chaos en getallentheorie samenkomen. Zeer opwindend en mysterieus.”

“Ik houd niet zo van competitie. Ik wil niet het gevoel hebben dat ik anderen voor moet zijn met

publiceren. Het is irritant als mensen te vroeg publiceren en daarbij over allerlei subtiliteiten heen stappen die mijn eigen publikatie vertragen. Daarom probeer ik zoveel mogelijk gebieden te vermijden die teveel in zwang komen. Ook als ik ze op gang heb gebracht. Er is niets zieliger dan een man die zijn hele leven in hetzelfde vakgebied blijft hangen en steeds hetzelfde roept, terwijl anderen het ontwikkelen. Daarentegen zijn er ook mensen, hele slimme, die nooit iets publiceren, en alleen maar aantekeningen voor zichzelf maken. Ik denk dat je de mensen moet vertellen wat je gevonden hebt. Je doet geen dingen alleen.”