Nobelprijs voor het fractionele quantum Halleffect

De nobelprijs natuurkunde 1998 is toegekend aan R.B. Laughlin (Stanford University), H.L. Störmer (Columbia University en Bell Labs, New Jersey) en D.C. Tsui (Princeton University),

> *for their discovery of a new form of quantum fluid with fractionally charged excitations.*

Hiermee bekroont de Koninklijke Zweedse Akademie van Wetenschappen de experimentele ontdekking van het fractionele quantum Halleffect en Laughlin's briljante theoretische analyse daarvan. Het gaat hier om verschijnselen die zich voordoen voor electronen in een tweedimensionale laag, in aanwezigheid van een sterk magneetveld loodrecht op die laag. Onder deze omstandigheden geeft, vanwege de Lorentzkracht, een aangelegde stroom aanleiding tot een Hallspanning in de richting loodrecht daarop, en is er dus sprake van een Hallgeleiding σ_H. In 1980 ontdekte von Klitzing dat bij lage temperaturen σ_H als functie van het aangelegde magneetveld 'plateaus' vertoont, waar σ_H gelijk is aan een heeltallig veelvoud van het geleidingsquantum $\frac{e^2}{h}$, met $-e$ de lading van het electron en h de constante van Planck. Voor de ontdekking van dit 'heeltallige quantum Halleffect' ontving von Klitzing in 1985 de nobelprijs.

In 1982, twee jaar na von Klitzing's werk, observeerden Tsui, Störmer en Gossard tot ieders verrassing een quantum Hallplateau met $\sigma_H = \frac{1}{3}\frac{e^2}{h}$, dat wil zeggen, met een fractionele waarde voor de Hallgeleiding. Later is dit 'fractionele quantum Halleffect' waargenomen voor een groot aantal verschillende fracties van het geleidingsquantum. In hetzelfde jaar kwam Laughlin met een theoretische verklaring voor het nieuwe verschijnsel. Hij stelde dat electronen onder de (extreme) omstandigheden van het fractionele quantum Halleffect een nieuw type quantumvloeistof vormen. Karakteristiek voor dit type vloeistof zijn een onsamendrukbare grondtoestand, beschreven door een zgn. Laughlin golffunctie, en het bestaan van excitaties met een fractionele lading. Voor de quantum Hall toestand met $\sigma_H = \frac{1}{3}\frac{e^2}{h}$ is de lading van elementaire excitaties één derde van de lading van het electron.

Laughlin's verklaring is nu, 16 jaar later, onomstreden, al moet gezegd worden dat een herformulering in termen van zgn. samengestelde fermionen tot een inzichtelijker beeld heeft geleid. De Zweedse Akademie heeft, met de voor haar gebruikelijke voorzichtigheid, gewacht met het toekennen van deze prijs tot het bestaan van fractionele lading op een meer directe manier is aangetoond. Dit is onlangs gebeurd in experimenten waarbij de ruis van een stroomsignaal door een fractioneel quantum Hallmedium direct gemeten werd. Deze experimenten, gedaan in 1997 en mogelijk geworden door het beschikbaar komen van hypergevoelige meetapparatuur, worden algemeen beschouwd als een definitieve bevestiging van Laughlin's theoretische beeld.

Het persbericht van de Zweedse Akademie meldt optimistisch dat alle waargenomen fractionele waardes voor de Hallgeleiding in overeenstemming zijn met Laughlin's theorie of met uitbreidingen daarvan die met behulp van samengestelde fermionen geformuleerd zijn. Toch is er een uitzondering: een in 1987 door Störmer, Tsui en anderen voor het eerst waarge-

nomen Hallplateau met $\sigma_H = \frac{5}{2}\frac{e^2}{h}$ valt buiten dit theoretische schema en heeft aanleiding gegeven tot beschouwingen over zogenaamde niet-abelse quantum Halltoestanden. Excitaties boven toestanden van dit type hebben fractionele lading en voldoen bovendien aan een 'niet-abelse' vorm van fractionele quantumstatistiek. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of ook dit fascinerende scenario in de natuur gerealiseerd is.

Vermeldenswaard is nog dat de nobelprijs scheikunde 1998 is toegekend voor werk dat nauw aan de natuurkunde gerelateerd is. W. Kohn (University of California at Santa Barbara) ontvangt de prijs *for his development of the density-functional theory*, samen met J.A. Pople (Northwestern University) *for his development of computational methods in quantum chemistry.*

K. Schoutens
Instituut voor Theoretische Fysica
Universiteit van Amsterdam