

Bohr, Van Leeuwen en het missende magnetisme

Vorig jaar [verhuisde QU-redacteur Watse Sybesma al naar IJsland](#); deze week vertrok redacteur Gerben Oling naar Denemarken voor een postdoctorale onderzoekspositie. Nu een steeds groter deel van onze redactie naar Scandinavië verhuist, wordt het tijd om één van de grootste natuurkundigen uit die regio eens wat beter te belichten: Niels Bohr. Hoewel Bohr vooral bekend is om zijn werk aan de quantummechanica, deed hij ook al tijdens zijn promotie een belangrijke ontdekking. In het eerste artikel uit een serie beschrijven we hoe hij inzag dat de klassieke beschrijving van metalen niet uit de voeten kan met het magnetisme.



Afbeelding 1. Niels Bohr. Niels Bohr in zijn jonge jaren. (De precieze datum van de foto is onbekend.)

Ken je tekortkomingen

Een van de meest fascinerende aspecten van de theoretische natuurkunde is het idee dat een model zijn eigen tekortkomingen kan voorspellen. Vooruitgang in onze kennis wordt aan de ene kant geboekt aan de hand van het doen van nieuwe experimentele observaties die niet door de bestaande theorieën verklaard kunnen worden. Als je ervan overtuigd bent dat de aarde plat is, en neemt waar dat een schip na een lange reis in één richting opeens uit de tegengestelde richting bij de haven terugkomt, zou dat een goede reden moeten zijn om je wereldbeeld bij te stellen.

Aan de andere kant is het echter ook mogelijk dat bestaande theorieën hun eigen tekortkomingen laten zien, als je de juiste vragen weet te stellen. We weten tegenwoordig dat toen Niels Bohr in 1903 met zijn studie natuurkunde aan de Universiteit van Kopenhagen begon, veel van de gangbare natuurkundige theorieën op instorten stonden. Dit kwam deels door hun gebrekkige verklaring van nieuwe experimentele observaties, maar ook deels door zulke inherente tekortkomingen.

Een Deense én Nederlandse ontdekking

Destijds was er in Kopenhagen één hoogleraar in de natuurkunde, dus Bohr had weinig keus bij het kiezen van zijn afstudeeronderwerp. Hij deed eerst enige tijd experimenteel werk en won een prijs van de Koninklijke Academie voor zijn onderzoek naar de oppervlaktespanning van vloeistoffen. Voor zijn proefschrift besloot Bohr echter een literatuuronderzoek te doen naar de verschillende modellen voor de beschrijving van metalen die in die tijd gangbaar waren. Bij het bestuderen van het model van Drude en Lorentz deed hij op een wonderbaarlijke ontdekking. Helaas werd hem door de universiteit verplicht zijn proefschrift in het Deens te schrijven, waardoor zijn resultaat maar weinig reuring kreeg buiten de kleine natuurkundegemeenschap in Denemarken.



Afbeelding 2. Hendrika van Leeuwen.Afbeelding via [Wikipedia](#).

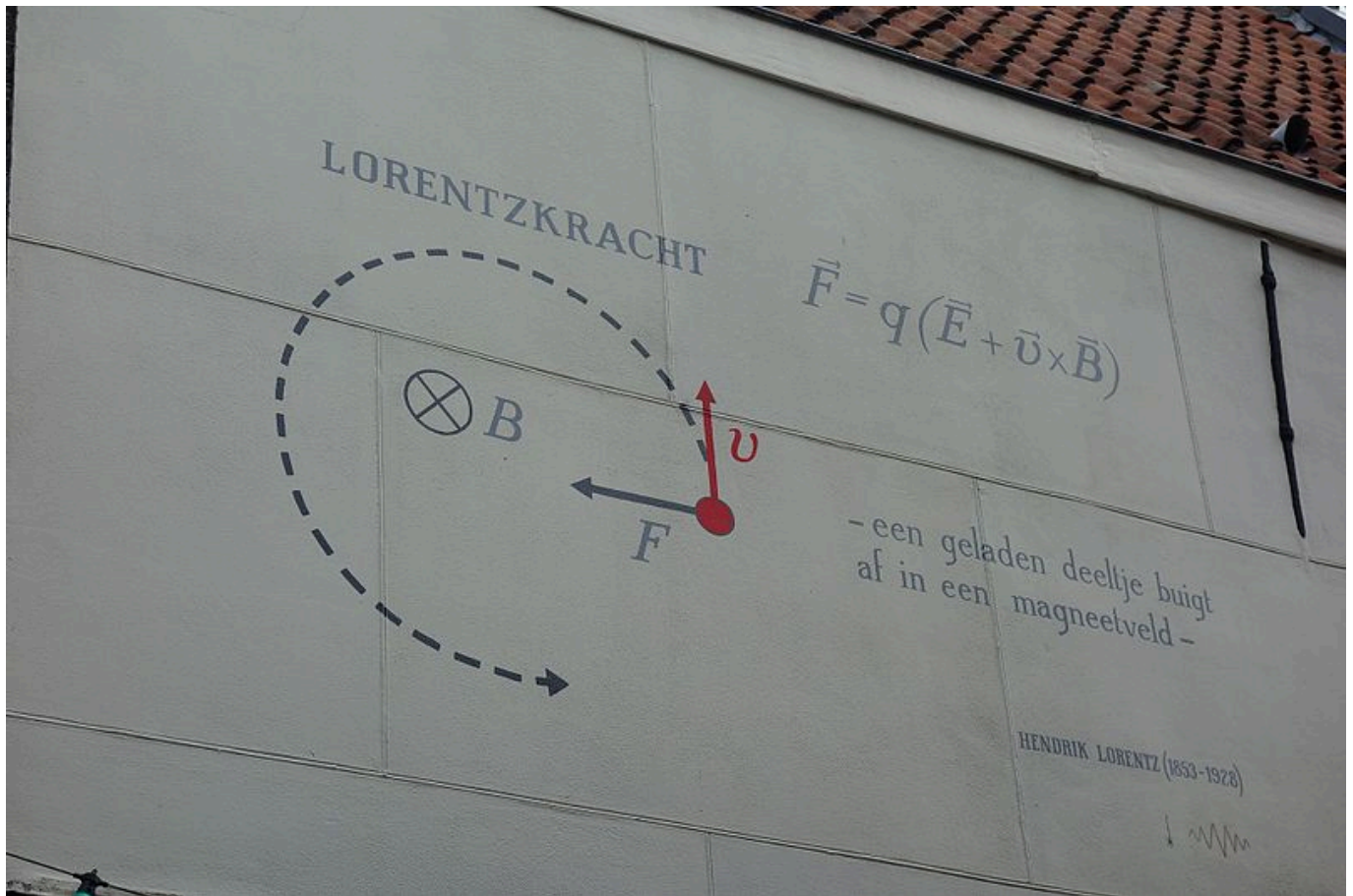
Een aantal jaar later zou Hendrika van Leeuwen, promovendus bij Hendrik Lorentz in Leiden, echter onafhankelijk op hetzelfde resultaat uitkomen. Mede aan de hand van haar herontdekking wordt dit resultaat, dat tegenwoordig ook wel bekend staat als de stelling van Bohr en Van Leeuwen, historisch gezien als één van de mogelijke aanleidingen tot de ontwikkeling van quantummechanica.

Magnetisch of niet?

Wat ontdekten Bohr en Van Leeuwen nu precies? In reguliere materialen bevinden de elektronen zich in banen om de atoomkern, een quantummechanische variant van hoe de aarde om de zon draait. Dit geheel van atoomkern en elektronen kan bewegen (zoals in een gas) of vast zitten in bijvoorbeeld een regelmatig kristalrooster.

Metalen lijken enigszins op vaste stoffen met zo'n kristalstructuur, omdat alle atoomkernen ook daar op een vaste plaats op een rooster zitten. De elektronen zijn echter vrij om rond te dwalen: ze zijn niet gebonden aan een bepaald atoom maar zweven als een zee van elektrische lading door het materiaal. Dit maakt dat metalen zo goed elektriciteit geleiden: de elektronen, die elektrische lading dragen, kunnen gemakkelijk van de ene naar de andere

kant van het metaal bewegen.



Afbeelding 3. De wet van Lorentz. De Lorentzformule als muurschildering in Leiden.

In de klassieke natuurkunde kunnen deeltjes zoals elektronen allerlei mogelijke paden volgen. Volgens de [wet van Lorentz](#) volgen elektrisch geladen deeltjes een gekromde baan in de aanwezigheid van een magnetisch veld. Als alle elektronen in dezelfde richting bewegen en hun banen dus in dezelfde richting gekromd worden, ontstaat er een tegengesteld magnetisch veld. Dit leidt tot de bekende magnetische eigenschappen van metalen: je kunt ze met een magneet oppakken of juist afstoten.

Bohr en Van Leeuwen beseften echter dat als de elektronen *niet* gedwongen worden om in een bepaalde richting te bewegen maar alle mogelijke paden kunnen volgen, een metaal op kamertemperatuur gemiddeld genomen geen netto magnetisatie kan hebben. Hierdoor heeft de klassieke beschrijving van elektronen in metalen een probleem: magnetisme bestaat wel degelijk, dus de theorie is incompleet. Zo konden Bohr en Van Leeuwen - zonder daadwerkelijk nieuwe experimenten uit te voeren! - een belangrijke tekortkoming van de

gangbare modellen blootleggen.

Van probleem naar oplossing

Het vinden van een probleem in de bestaande natuurkunde is op zich al heel interessant, maar de volgende vraag was natuurlijk: hoe kon deze interne tegenspraak in de beschrijving van metalen opgelost worden? In een volgend artikel gaan we verder in op de totstandkoming van Bohrs atoommodel en de quantumtheorie die daaruit volgde.