



Hendrika Johanna van Leeuwen

Die Wissenschaftlerin hinter dem Bohr-van-Leeuwen-Theorem

Margriet van der Heijden und Miriam Blaauboer

Das Bohr-van-Leeuwen-Theorem besagt, dass Magnetismus nicht klassisch erklärbar ist, was darauf schließen lässt, dass es sich um ein echtes Quantenphänomen handeln muss. Dass es nach Bohr benannt ist, ist vielleicht nicht so überraschend, aber wer war van Leeuwen?

Als Hendrika Johanna „Jo“ van Leeuwen 1919 ihre Dissertation bei Hendrik Lorentz abschloss, war sie nicht seine erste Doktorandin. Drei weitere Frauen hatten ebenfalls bei ihm promoviert: seine eigene Tochter Berta und Johanna Reudler im Jahr 1912 sowie Eva Bruins im Jahr 1918. Die vier gehörten zu den ersten Frauen, die in den Niederlanden Physik auf universitärem Niveau studieren konnten. Das war in den Niederlanden wie auch anderswo in Europa keine Selbstverständlichkeit. Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts bahnten sich Frauen langsam ihren Weg an die Universitäten, die ihnen bis dahin nur zögerlich ihre Türen geöffnet hatten. Ihr Fortkommen wurde oft durch eine unzureichende Vorbildung behindert, vor allem wenn sie sich für die Wissenschaft interessier-

ten. Die Hogere Burger School (HBS), die zusammen mit einem zusätzlichen Staatsexamen in Griechisch und Latein für viele Jungen den Weg zu einem naturwissenschaftlichen Studium ebnete, nahm bis weit ins 20. Jahrhundert hinein in der Regel keine Mädchen auf. In den mittlerweile eingerichteten speziellen HBS-Schulen für Mädchen wurden die Fächer Physik und Mathematik weitgehend durch Handarbeit und Hauswirtschaft ersetzt.

Jo van Leeuwen und ihre jüngere Schwester Nel hatten das Glück, dass ihre fortschrittlichen Eltern sie an der Haager Knabenschule anmeldeten, als diese 1901 die Auf-

Quantenphysikerinnen

Alle Beiträge dieser Serie finden sich online in einem Dossier unter folgendem Link: <https://pro-physik.de/dossiers/quantenphysikerinnen>.



◀ Hendrika Johanna van Leeuwen nahm an den Feierlichkeiten zum 50-jährigen Promotionsjubiläum ihres Doktorvaters Hendrik Lorentz im Jahr 1925 teil. Sie ist auf dem Gruppenfoto links neben Albert Einstein zu sehen.

nahme von Mädchen erlaubte, was damals noch einer ministeriellen Ausnahmegenehmigung bedurfte. Außerdem erlaubten sie ihren beiden Töchtern, die staatliche Ergänzungsprüfung in Griechisch und Latein abzulegen und anschließend in Leiden Physik zu studieren. Dort begann Jo dann 1914 ihre Doktorarbeit bei Lorentz [1].

Eine Doktorarbeit zum Magnetismus

Van Leeuwens Arbeit baute auf dem Kernstück der wissenschaftlichen Karriere von Lorentz auf: seiner Elektronentheorie. Diese Theorie entstand aus seinem Interesse an der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, einem Thema, das ihn seit seiner eigenen 1875 abgeschlossenen Promotion beschäftigt hatte. In dieser Arbeit baute er auf Maxwells Theorie des Elektromagnetismus auf, welche die magnetischen und elektrischen Phänomene sehr gut beschrieb, aber die Details der mikroskopischen Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie offenließ, die den makroskopischen Phänomenen wie der Reflexion von Licht an einer Oberfläche zugrunde liegen. Lorentz hatte 1878 vorgeschlagen, dass winzige elektrisch geladene Bestandteile der Materie für diese Wechselwirkungen verantwortlich sind, und 1899 verwendete er für sie den mittlerweile verbreiteten Begriff „Elektronen“. Diese Elektronen würden zu schwingen beginnen, wenn sie von einer Lichtwelle „getroffen“ würden, und da Schwingung mit Beschleunigung einhergeht, würden die schwingenden Elektronen selbst Strahlung aussenden [2].

Eine der Stärken von Lorentz' Theorie bestand darin, dass sie mikroskopische Wechselwirkungen in makroskopische Phänomene übersetzte. Dazu verwendete er statistische Methoden, die von den Arbeiten Ludwig Boltzmanns inspiriert waren, mit dem er regelmäßig korrespondierte. Ein Beispiel für ein solches makroskopisches Phänomen ist der Magnetismus. In einer Vorlesungsreihe in den Jahren 1910/11 hatte Lorentz gezeigt, dass frei bewegliche Elektronen in einem Metall kein magnetisches Moment erzeugen, obwohl die Maxwellsche Theorie besagt, dass ein elektrischer Strom (bzw. für Lorentz ein sich bewegendes Elektron) ein Magnetfeld induziert. Dies war der Ausgangspunkt für van Leeuwen, sich in ihrer Doktorarbeit mit dem Magnetismus zu beschäftigen.

In den folgenden Jahren untersuchte sie nicht nur freie Elektronen in Metallen, sondern auch eine Reihe anderer Systeme wie Gase aus neutralen Molekülen mit einem Dipolmoment sowie andere Arten asymmetrischer Ladungsverteilungen. Van Leeuwen verglich ihre Ergebnisse sorgfältig mit denen früherer Arbeiten von Paul Langevin, Woldemar Voigt, Erwin Schrödinger, Joseph John Thomson und Lorentz selbst. Diese Analysen führten sie zu der Schlussfolgerung, dass jedes dynamische klassisch-

mechanische System in einem Magnetfeld im thermischen Gleichgewicht (d. h. ohne Netto-Energiefluss in das System hinein oder aus dem System heraus) kein magnetisches Dipolmoment besitzt. Mit anderen Worten, sie können keinen (Para-, Dia- oder Ferro-)Magnetismus erzeugen – zumindest nicht, wenn man diese Systeme vom Standpunkt der klassischen Physik aus betrachtet.

Der spätere Nobelpreisträger John Van Vleck beschrieb diese Schlussfolgerung in seinem bahnbrechenden Buch 1932 als „bemerkenswerte und ziemlich beunruhigende Tatsache“. Er schrieb: „Wir werden diese Ergebnisse als ‚Miss van Leeuwens Theorem‘ bezeichnen“ und betonte, wie umfassend ihre Untersuchungen waren: „Obwohl andere Forscher zuvor magnetische Suszeptibilitäten von Null unter bestimmten Bedingungen vorhergesagt hatten, blieb es Miss van Leeuwen vorbehalten, das gesamte Thema der Suszeptibilitäten in der klassischen Theorie kritisch zu überprüfen“ [3].

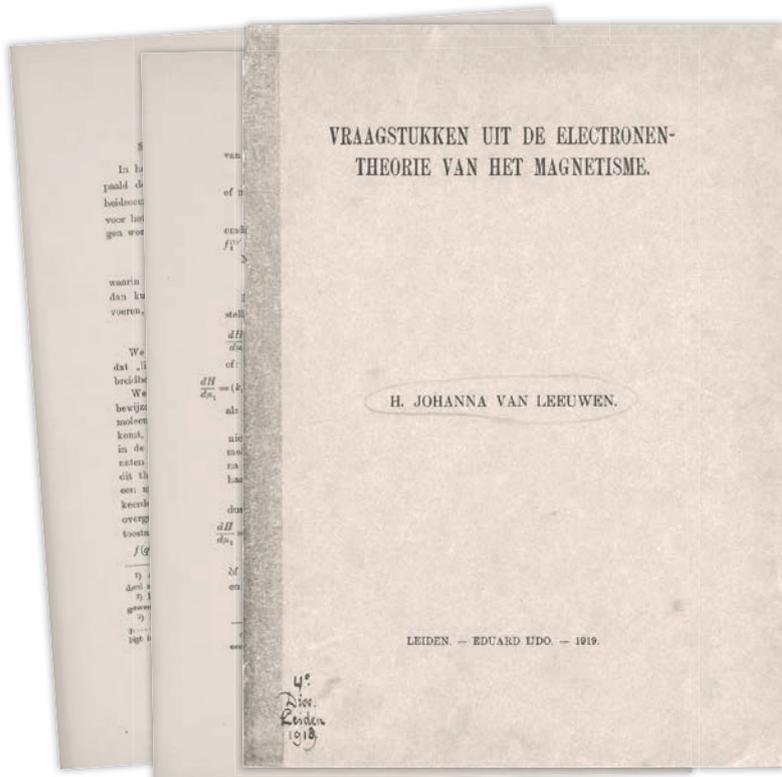
Zuvorgekommen

Was Lorentz und van Leeuwen offenbar nicht wussten, war, dass kein Geringerer als Niels Bohr dieses Ergebnis bereits in seiner Dissertation von 1911 gefunden hatte [4]. Wenn man bedenkt, dass Bohrs Dissertation auf Dänisch verfasst und nicht leicht zugänglich war, überrascht dieses Übersehen weniger. Auch war Bohr damals noch relativ unbekannt. So war er zum Beispiel bei den ersten beiden



Mit freundlicher Genehmigung der Familie van Leeuwen

H. Johanna van Leeuwen (1887 – 1974) auf einem undatierten Foto, das aber auf jeden Fall vor 1925 entstanden sein dürfte.



In ihrer Dissertation baute H. Johanna van Leeuwen auf der Theorie des Magnetismus von Hendrik Lorentz auf und zeigte, dass Magnetismus bei Festkörpern ein rein quantenmechanischer Effekt ist.

Solvay-Konferenzen 1911 und 1913, die Lorentz geleitet hatte, nicht anwesend. Hinzu kommt, dass in den Jahren 1914 bis 1918, in denen van Leeuwen den größten Teil ihrer Arbeit durchführte, die internationalen Beziehungen zwischen Wissenschaftlern durch den Ersten Weltkrieg stark beeinträchtigt und oft kaum aufrechtzuerhalten waren.

Natürlich war Van Vleck im Jahr 1932 über Bohrs Arbeit informiert. Dass er van Leeuwens Arbeit hervorhob und Bohrs Dissertation nur in einer Fußnote erwähnte, lag vor allem daran, dass van Leeuwen alle möglichen Systeme und frühere Arbeiten kritisch untersuchte, während Bohr sich auf die freien Elektronen in Metallen konzentriert hatte. Doch letztlich wurden van Leeuwens Ergebnisse von denjenigen Bohrs völlig in den Schatten gestellt. Während Van Vleck 1932 Bohrs Arbeiten zum Magnetismus nur in einer Fußnote erwähnte, waren die Rollen in seinem Nobelvortrag von 1977 völlig vertauscht [5]. Van Vleck stellte nun Bohrs Dissertation in den Mittelpunkt und deutete sogar an, dass gerade diese Entdeckung Bohr zumindest teilweise zur Entwicklung seines Modells des Wasserstoffatoms inspiriert haben könnte. Jetzt war es der Name van Leeuwen, der in einer Fußnote verschwand.

Frühe Laborkurse und späte Dozentur

Van Leeuwen wurde im September 1920 als eine der ersten Frauen als Assistentin an der Technischen Hochschule Delft (heute Technische Universität Delft) eingestellt. In dieser Position, die sie fast dreißig Jahre lang innehatte, leitete sie erfolgreich die Physiklaborkurse an der Fakultät für Elektrotechnik, die von ihren Studenten sehr geschätzt

und gelobt wurden, aber ihr blieb nur wenig Zeit für theoretische Forschungen über den Magnetismus. Erst 1947, im Alter von 59 Jahren, wurde sie zur Dozentin für theoretische und angewandte Physik ernannt und erhielt endlich die Erlaubnis, Vorlesungen zu halten. Diese Ernennung ließ nicht nur nach heutigen Maßstäben, sondern auch in den Augen ihrer Zeitgenossen lange auf sich warten; für den Aufbau einer Karriere in der Forschung war es sicher zu spät. In der Benennung des Bohr-van Leeuwen-Theorems sind aber zumindest ihre frühen Arbeiten bis heute erhalten geblieben [6].

Literatur

- [1] *H. J. van Leeuwen*, Vraagstukken uit de electronentheorie van het magnetisme (Probleme aus der Elektronentheorie des Magnetismus), Eduard IJdo, Leiden 1919
- [2] *A. Kox* und *H. Schatz*, A Living Work of Art: The Life and Science of Hendrik Antoon Lorentz, Oxford University Press, Oxford 2021
- [3] *J. H. Van Vleck*, The Theory of Electrical and Magnetic Susceptibilities, Oxford University Press, Oxford 1932, S. 94
- [4] *N. Bohr*, Studier over metallernes Elektrontheorie, J. Jørgens & Co., Kopenhagen 1911, in: *L. Rosenfeld* und *J. Rud Nielsen* (Hrsg.), Niels Bohr, Collected Works, Bd. 1, Elsevier, Amsterdam 1972, S. 163
- [5] *J. H. Van Vleck*, Quantum Mechanics: The Key to Understanding Magnetism, in: *S. Lindqvist* (Hrsg.), Nobel Lectures, Physics 1971 – 1980, World Scientific Publishing, Singapur 1992, S. 353
- [6] Eine ausführlichere Darstellung findet sich in: *M. Blaauboer* und *M. van der Heijden*, H. Johanna van Leeuwen, in: *P. Charbonneau* et al. (Hrsg.), Women in the History of Quantum Physics: Beyond Knabenphysik, Cambridge University Press, Cambridge 2025

Die Autorinnen

Margriet van der Heijden ist Professorin für Wissenschaftskommunikation in der Physik am Fachbereich für angewandte Physik an der Eindhoven University of Technology. Daneben ist sie im Bereich der Wissenschaftsgeschichte aktiv und befasst sich insbesondere mit der (oft übersehenen) Rolle der Frauen in der Physik.



Iris Rijsman

Miriam Blaauboer ist theoretische Physikerin am Quantum Nanoscience Department der TU Delft. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Quantentransport und Quantendynamik in Nanosystemen sowie Quanteninformationstheorie.



Prof. Dr. Margriet van der Heijden, Department of Applied Physics, Eindhoven University of Technology, PO Box 513, 5600 MB Eindhoven, Niederlande und **Prof. Dr. Miriam Blaauboer**, Kavli Institute of Nanoscience, Delft University of Technology, Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft, Niederlande