



Die Quantenphysikerinnen

Eine Artikelserie porträtiert Physikerinnen, deren Beiträge zur Quantenphysik bislang kaum gewürdigt wurden.

Arne Schirmmacher

Die Geschichte der Quantenphysik ist wie kaum eine andere Entwicklung in der modernen Wissenschaft als eine Geschichte von Männern geschrieben worden. Meist noch kombiniert mit dem Merkmal der Jugendlichkeit wird von „Knabenphysik“ und der „Drei-Männer-Arbeit“ berichtet, und es scheint, als hätten Frauen keinen Anteil daran gehabt. Persönliche und populäre Darstellungen haben lange dazu beigetragen, dieses Bild zu verfestigen, das sich – so wie das virtuelle Bild in der Optik – nicht auf der Ebene der Realität abbilden lässt.

Studierende sind oft überrascht zu erfahren, dass die erste Physikprofessorin nicht aus dem zwanzigsten, sondern aus dem achtzehnten Jahrhundert stammt. Laura Bassi wurde 1732 eine gutbezahlte Professur an der Universität Bologna verliehen. Am Ende ihres Lebens sollte sie dazu noch einen Lehrstuhl für Experimentalphysik erhalten – zu einer Zeit, als ihre fünf erwachsenen Kinder

vielfach selbst Gelehrte geworden waren, ein Sohn etwa auch Physikprofessor (während ihre einzige überlebende Tochter Nonne wurde).

Über die wenigen besonders herausragenden Fälle hinaus haben Frauen in vielerlei Institutionen und Rollen Beiträge zur modernen Wissenschaft geleistet, auch wenn dies oft nur gegen beträchtliche Widerstände möglich war. Häufig waren ihre Erkenntnisse den Zeitgenossen durchaus bekannt und ihre Leistungen wurden erst später unsichtbar.

Natürlich hatten nicht allein Frauen mit Vorurteilen und Ausgrenzung zu kämpfen, die immer wieder für Benachteiligung und mangelnde Sichtbarkeit von Menschen in der Wissenschaft geführt haben. Das galt vor allem, wenn diese nicht den jeweiligen Vorstellungen eines Wissenschaftlers oder Gelehrten entsprachen. Solche Vorstellungen wurden freilich häufig proklamiert, um Privilegien zu sichern. Aber das Geschlecht war historisch sicherlich der folgenreichste Faktor und daher ist die Frage nach den Quantenphysikerinnen im Jubiläumsjahr 2025 wichtig, wenn nicht sogar zwingend. Für die Physik geht es daher wie für viele andere Fächer in einem ersten Schritt immer noch darum, die Frauen und ihre wissenschaftlichen Beiträge überhaupt sichtbar zu machen. Und zwar nicht nur einzelne (akzeptierte) Ausnahmefrauen, sondern die Physikerinnen insgesamt, die mit ihren männlichen Kollegen oft gemeinsam geforscht haben.

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, April 2025, S. 28, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/22634>



◀ Auch wenn die Physik-Nobelpreisträgerin Maria Goeppert Mayer (linkes Bild, mit Viktor Weisskopf und Max Born) und die Experimentalphysikerin Hertha Sponer (rechtes Bild, mit Wilhelm Hanle und Günther Caro) zu den bekanntesten Frauen der modernen Physikgeschichte gehören, sind ihre Beiträge zur Quantenphysik oft unbekannt geblieben.

„Mädchenphysik“ in Göttingen?

Die Physikgeschichte hat mittlerweile eine ganze Reihe von Frauen identifiziert, die seit den 1920er-Jahren wie ihre männlichen Kollegen nach Göttingen gekommen waren, um sich an den Forschungen zur neuen Quantenmechanik zu beteiligen:

■ **Hertha Sponer** schloss 1920 mit 23 Jahren ihre Dissertation bei Peter Debye in Göttingen ab und wurde dort im Folgejahr Assistentin von James Franck. Ein Rockefeller-Stipendium, mit dem etwa Heisenberg von Göttingen nach Kopenhagen gelangte, ermöglichte es Sponer, 1925 als Postdoc nach Berkeley zu gehen. Zurück in Göttingen erhielt sie 1932 eine außerordentliche Professur für Physik.

■ **Lucy Mensing** hatte in Hamburg eng mit Wolfgang Pauli für ihre Promotion zusammengearbeitet. Diese wurde mit einem Preis ausgezeichnet, der es ihr ermöglichte, 1926 im Alter von 25 Jahren als Postdoc in Göttingen die neue Matrizenmechanik erstmals auf Rotationsschwingungsspektren von zweiatomigen Molekülen anzuwenden.

■ **Bertha Swirles** promovierte wie Paul Dirac in Cambridge. Beide wurden von ihrem Betreuer auf die sich entwickelnde Quantenmechanik aufmerksam gemacht. Anders als Dirac war ihr als Frau der Zutritt zu Heisenbergs Vortrag am 28. Juli 1925 im Rahmen des „Kapitza-Clubs“ in Cambridge verwehrt. Als 24-jährige Doktorandin war es ihr aber möglich, im Wintersemester 1927/28 mit der Gruppe der Quantenphysiker in Göttingen zusammenzuarbeiten und Heisenberg in Leipzig zu besuchen.

■ Die in Göttingen aufgewachsene **Maria Goeppert** wurde im Alter von 23 Jahren 1930 bei Max Born promoviert und wandte die Quantenmechanik auf Zwei-Photonen-Prozesse an. Das Haus der Familie Goeppert beherbergte gleich eine ganze Reihe von Doktoranden und Postdocs, darunter auch Bertha Swirles und Joe Edward Mayer, ihren späteren Ehemann.

■ **Emmy Noether** war zwar in erster Linie Mathematikerin, aber das nach ihr benannte Theorem, das sie – als erste Privatdozentin in Deutschland überhaupt – aufstellte, hatte für die Quantenmechanik eine große Bedeutung.

■ **Grete Herrmann** schloss 1925 mit 24 Jahren ihre Dissertation bei Emmy Noether ab, bevor sie Assistentin des Göttinger Philosophen Leonard Nelson wurde und sich unter anderem den naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik zuwandte.

Einige der genannten Frauen werden in den kommenden Beiträgen der Artikelserie vorgestellt.

Wege zur Sichtbarkeit

Jeder Versuch, einen historischen Überblick über die Physikerinnen zu geben und ihre wissenschaftlichen Leistungen als integralen Teil der Entwicklung der Physik darzustellen, scheiterte bisher daran, dass unsere Kenntnis der Frauen der Physik noch zu unvollständig ist. Bereits bestehende Listen, Zusammenstellungen und Sammelbände sind weiterhin in hohem Maße unvollständig [1]. Ebenso unvollständig und daher mit Vorsicht zu betrachten sind die Statistiken, die wir für Studentinnen, Promovendinnen, Forscherinnen und Professorinnen der Physik haben. Einen gewissen Eindruck können die relativ konsistent erhobenen Zahlen der Promotionen aus der Kategorie Science and Engineering in den USA vermitteln (**Abb. 1**). Von einem nennenswerten Anteil an Frauen kann demnach frühestens seit den 1950er-Jahren die Rede sein.

Hinzu kommt die Unsichtbarkeit der vorhandenen Physikerinnen im wörtlichen Sinne: Selbst aus der Zeit, in der Frauen vermehrt Physik studieren und in der Forschung eine Stelle finden, sind Fotos von Physikerinnen im Arbeitskontext kaum überliefert, und wenn, dann oft als namenlose Forscherinnen (**Abb. 2**). Für die Quantenphysik hat aber vor allem die 2021 gegründete internationale Arbeitsgruppe „Women in the History of Quantum Physics“ (WiHQP) Pionierarbeit geleistet, Forscherinnen Sichtbarkeit zu geben [2].

Die Porträt-Serie, die beginnend in dieser Ausgabe des Physik Journal eine Reihe von Quantenphysikerinnen vorstellt, profitiert von den Ergebnissen dieser Arbeitsgruppe [3]. Ein im Oktober 2024 am Deutschen Museum veranstalteter und von der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

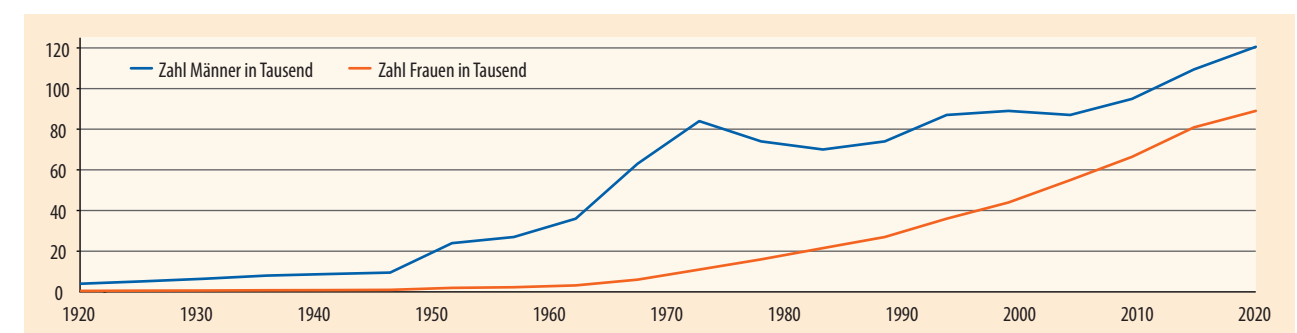


Abb. 1 Die Zahlen der Promotionen in der Kategorie „Science and Engineering“ in den USA vermitteln einen Eindruck, wie sich der Frauenanteil in den vergangenen hundert Jahren entwickelte. Erst ab den 1950er-Jahren war ihr Anteil nennenswert und ist seitdem kontinuierlich gewachsen.



Abb. 2 Dieses Foto aus dem Jahr 1957 zeigt eine Physikerin bei Experimenten im Lewis Flight Propulsion Laboratory, dem heutigen John H. Glenn Research Center. Bezeichnenderweise ist ihr Name nicht überliefert.

unterstützter Workshop erlaubte es, ein Format zu entwickeln und eine Auswahl von Fallstudien vorzunehmen, sodass am Ende der Serie diese auch eine Grundlage für Schulprojekte und universitäre Lehrveranstaltungen bilden wird, wenn die gesammelten Materialien digital zur Verfügung stehen. Der exemplarische Zugang und die implizite Aufforderung zum Vergleich ermöglichen es, sich selbst ein Bild von den Frauen der Quantenphysik zu machen und vielfältige Mechanismen und Muster zu entdecken, die zu Karrierehürden und Unsichtbarkeit geführt haben. Dabei war etwa der häufig anzutreffende Vorwand, Nepotismus (wörtlich: Vetternwirtschaft) zu verhindern, diskriminierend, wenn daraus abgeleitet wurde, dass bei Ehepaaren nicht beide eine Anstellung in der Wissenschaft erhalten dürfen, oder gar, dass verheiratete Frauen ihre Karriere generell aufgeben müssen. Aber bis zu den heutigen Dual-Career-Programmen war es historisch ein weiter Weg.

Fallbeispiele statt Rollenmodelle

Mit den Gründen und Mechanismen, wie Frauen von der Wissenschaft ausgeschlossen wurden, hat sich auch die Wissenschaftsgeschichte bereits einige Jahrzehnte intensiv beschäftigt, aber ebenso damit, wie Frauen auch immer wieder Wege fanden, sich doch zu beteiligen. Jedoch haben diese Ergebnisse bislang kaum Eingang in Darstellungen gefunden, die ein breiteres Publikum erreichen. Ein Über-

blick über den Stand dieser Forschung wird am Ende der Porträt-Serie stehen und von der Mitorganisatorin dieser Reihe, Andrea Reichenberger, übernommen.

Klar ist, dass es sicherlich nicht den *einen* Grund gibt, warum es für Frauen so viel schwieriger war, an der Wissenschaft, an der Physik und insbesondere an der Quantenphysik mitzuwirken. Entsprechend lässt sich dafür auch keine einfache Lösung ableiten, die heute hilfreich sein könnte, für Gleichstellung zu sorgen. Aber ein Blick in die Geschichte und auf individuelle Lebenswege kann helfen, Fragen zu stellen, Probleme klarer zu sehen und vielleicht Perspektiven für Verbesserungen zu finden.

Das Quantenjahr 2025 ist ein willkommener Anlass, in dieser und kommenden Ausgaben des Physik Journal Porträts von Frauen zu veröffentlichen, die bedeutende Beiträge zur Quantenphysik geleistet haben. Neben vertrauten Namen erscheinen viele Quantenphysikerinnen, die noch weitgehend unbekannt sind. Die Fallbeispiele zeichnen ein Bild mit sehr verschiedenen Persönlichkeiten, Lebenswegen und wissenschaftlichen Karrieren – mal erfolgreich, mal schwierig, durch die Zeitumstände zerstört oder durch mutige persönliche Entscheidungen erst möglich. Sie können und sollen aber keinesfalls als Vorbilder oder „role models“ für die heutige Zeit missverstanden werden. Doch sollen sie einen ersten Einblick geben und Interesse wecken, mehr zu erfahren und so ein realistisches Bild der Quantenphysikerinnen zu gewinnen – oder ein reelles und nicht virtuelles, wie man in der Physik sagt.

Literatur und Links

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Women_in_physics; C. Denz und A. Vogt (Hrsg.), Einsteins Kolleginnen. Physikerinnen gestern und heute, TeDiC: Bielefeld 2005; N. Byers und G. Williams (Hrsg.), Out of the Shadows: Contributions of Twentieth-Century Women to Physics, Cambridge University Press, Cambridge 2006; B. Hartmann und C. Schriever, Vordenkerinnen: Physikerinnen und Philosophinnen durch die Jahrhunderte, Unrast Verlag, Münster 2022
- [2] Projekt-Webseite: <https://sites.duke.edu/wihqp>
- [3] In Kürze erscheint: P. Charbonneau, M. Frank, M. van der Heijden und D. Monaldi (Hrsg.), Women in the History of Quantum Physics. Beyond Knabenphysik, Cambridge University Press, Cambridge 2025, weitere Informationen auf <https://tinyurl.com/ymb45uyh>

Der Autor



Leopoldina / Markus Scholz

Prof. Dr. Arne Schirmmacher, Institut für Geschichtswissenschaften, Humboldt-Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin

Arne Schirmmacher (FV Geschichte der Physik) ist Wissenschaftshistoriker mit den Schwerpunkten Geschichte der modernen Naturwissenschaften und Geschichte der Wissenschafts- und Technikkulturen des 20. Jahrhunderts. Speziell befasst er sich mit deren Vermittlung durch Kommunikations- und Ausstellungsmedien. Im Quantenjahr koordiniert er eine Reihe von wissenschaftshistorischen Projekten der DPG.

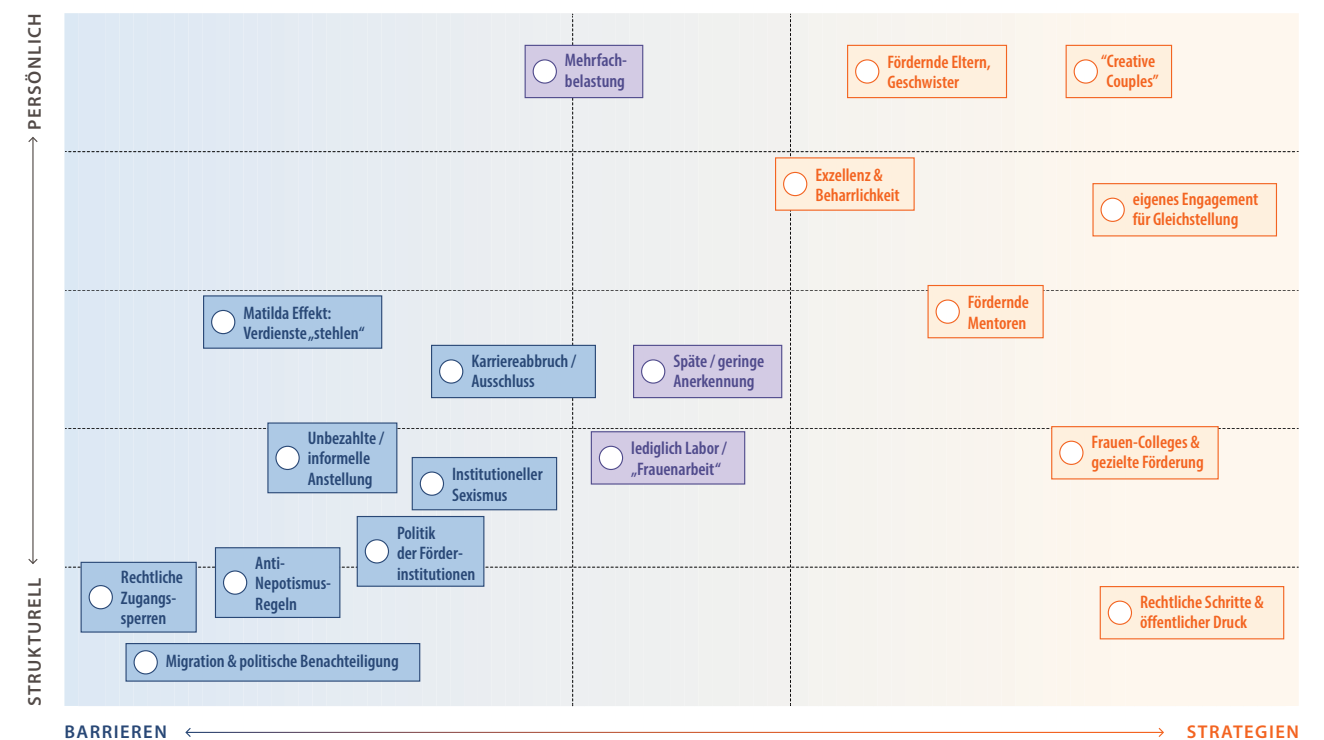
Anregungen zur Diskussion

In der Mappe finden sich neben den zehn Porträts von Quantenphysikerinnen diese Einleitung und ein Abschlussartikel. Dafür wird es je nach Lehrsituation verschiedene Einsatzmöglichkeiten geben.

Ein typischer Gebrauch wäre, die zehn Fallstudien in Lehrveranstaltungen an Zweier- oder Dreiergruppen zu verteilen, die sich ein Porträt anschauen und ihre Eindrücke diskutieren. Dies kann mit dem Arbeitsauftrag kombiniert werden, der jeweils auf der vierten Seite gegeben wird. Die hier angebotene Grafik der Einflussfaktoren wurde aus den zehn Fallstudien zusammengestellt und in einer Matrix angeordnet. Natürlich können weitere Faktoren gefunden und ergänzt werden.

Eingangs- und Abschlussartikel stellen für eine Lehrperson zusätzliches Material für die Vor- und Nachbereitung bereit. Oder sie werden gemeinsam vor und nach der Gruppenarbeit gelesen und diskutiert. Der QR-Code erlaubt es, individuell auf alle Porträts zuzugreifen

- | | |
|---------------|-----------|
| 1 Chalk | 6 Monroe |
| 2 Goepfert | 7 Wu |
| 3 Hermann | 8 Mensing |
| 4 van Leeuwen | 9 Sponer |
| 5 Friedman | 10 Dewey |



Weitergehende Lektüre

Weitere Materialien finden sich auf Englisch etwa beim American Institute of Physics (aip.org/history), darunter auch eine Reihe von Teaching Guides zu „Women in the physical sciences“.

Drei Beispiele für neuere weiterführende Bücher sind (mit zunehmendem Anspruch):

- Leonie Schöler, *Beklaute Frauen. Denkerinnen, Forscherinnen, Pionierinnen*, Penguin Verlag, München 2024
- Nina Byers und Gary Williams (Hrsg.), *Out of the Shadows. Contributions of Twentieth-Century Women to Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 2006
- Patrick Charbonneau et al. (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 2025





Laura Chalk

Die kanadische Physikerin lieferte einen frühen experimentellen Nachweis der jungen Quantenmechanik, der vollkommen in Vergessenheit geriet.

Daniela Monaldi

Die erste neue Vorhersage der Quantenmechanik wurde von Laura Chalk, einer Doktorandin an der McGill University in Montreal, Kanada, zwischen 1926 und 1928 unter der Leitung von J. Stuart Foster experimentell überprüft. Warum ist aber das Foster-Chalk-Experiment aus der Geschichte der Quantenmechanik verschwunden? [1]

Laura Mary Chalk wurde 1904 in Montreal in eine Pädagogenfamilie hineingeboren und zeigte schon früh hervorragende akademische Leistungen, insbesondere in Mathematik. Der Leiter der Physikabteilung der McGill University, Arthur S. Eve, ermutigte sie, Physik zu studieren, und 1925 schloss sie ihr Studium in Mathematik und Physik mit Auszeichnung ab. Nachdem sie als beste Studentin des Jahres in Physik und Mathematik ausgezeichnet worden war und ein einjähriges Stipendium des National Research

Council erhalten hatte, beschloss sie, in McGill zu bleiben, und wurde die erste Doktorandin von J. Stuart Foster, dem jüngsten Mitglied der Fakultät und einem aufstrebenden Experten für experimentelle Beobachtungen des Stark-Effekts. Fosters zweiter Doktorand war William Rowles, der später Physikprofessor am McGill College of Agriculture und Ehemann von Chalk werden sollte [2].

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, April 2025, S. 32, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/22635>



Gruppenfoto des Physik-Departments der McGill University um 1927/28 mit Laura Chalk (farbig hervorgehoben), J. Stuart Foster (1. Reihe, ganz links) und Arthur S. Eve (1. Reihe, 5. von links) sowie weiteren weiblichen Mitgliedern der Fakultät.

Zwar war Laura Chalk die erste Frau, die in McGill ein vollständiges Promotionsstudium erfolgreich abschloss, aber sie war nicht das einzige weibliche Mitglied der Fakultät. Eves Unterstützung für Frauen in der Physik hing wohl auch damit zusammen, dass er der Schwager von Harriet Brooks war, Rutherfords Schülerin in Montreal und eine Pionierin auf dem Gebiet der Radioaktivität [3].

Die Intensitäten beim Stark-Effekt

Zwischen Rutherfords Weggang 1907 und Fosters Ankunft 1924 stagnierte die moderne Physik in McGill. Foster war maßgeblich daran beteiligt, die Forschung wiederzubeleben. Er wurde später vor allem durch den Bau des ersten kanadischen Zyklotrons und die Ausbildung der ersten Generation kanadischer Kernphysiker bekannt [4]. Mitte der 1920er-Jahre zeichnete er sich durch sein Fachwissen über die Lo-Surdo-Röhre aus, ein Gerät, das für detaillierte Beobachtungen des Stark-Effekts entscheidend war.

Unter dem Stark-Effekt versteht man die Aufspaltung und Verschiebung der Spektrallinien von Atomen in einem äußeren elektrischen Feld. Er wurde 1913 unabhängig voneinander von Johannes Stark und dem Italiener Antonino Lo Surdo entdeckt. Der Effekt diente als Prüfinstanz für die sich entwickelnde Quantentheorie, insbesondere für das Bohr-Sommerfeld-Modell des Atoms. Obwohl die Berechnungen der Spektralfrequenzen weithin als durchschlagender Erfolg der frühen Quantentheorie galten, boten immer detailliertere Beobachtungen die Möglichkeit, die Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment zu verbessern, und dienten somit auch als früher Test für die Quantenmechanik.

In ihrer Doktorarbeit untersuchte Laura Chalk den Stark-Effekt in Wasserstoff erneut und konzentrierte sich dabei auf die relativen Intensitäten der Spektrallinien. Ihre Forschung war eine anspruchsvolle Erweiterung von Fosters Arbeit und zielte darauf ab, kleine Diskrepanzen zwischen theoretischen Vorhersagen und experimentellen Daten zu untersuchen. Noch war unklar, ob die Ursache der Abweichungen in den Berechnungen oder den Messungen lag.

Erwin Schrödinger veröffentlichte im Sommer 1926 die ersten wellenmechanischen Berechnungen der Intensitäten der Stark-Linien in Wasserstoff. Diese unterschieden sich von den aus der alten Quantentheorie abgeleiteten Schätzungen in den relativen Intensitäten der Komponenten der Balmer-Reihe und stellten somit die erste neue Vorhersage der Quantentheorie dar. Genau zu dieser Zeit stellte Chalk ihre ersten Spektralaufnahmen her. Foster verließ derweil Montreal, um als Stipendiat des International Education Board sechs Monate am Institut von Niels Bohr in Kopenhagen zu verbringen. Als Foster dort ankam, geriet er sofort in die Aufregung um die jüngsten Entwicklungen der

neuen Quantenmechanik. Durch Bohr wurde ihm die Bedeutung der Daten von Chalk klar und Bohr bat ihn, einen vorläufigen Bericht zu veröffentlichen. Daraufhin schrieb Foster an Eve und wies Chalk an, ihre Beobachtungen zu vervollständigen, um Schrödingers Vorhersagen gründlich zu überprüfen. Daher erweiterte Chalk ihre Dissertation zu einem systematischen Vergleich von experimentellen Daten und theoretischen Vorhersagen, welche die klare Überlegenheit von Schrödingers Werten zeigte (Abb. 1). Schrödinger, der im Oktober auch Kopenhagen besuchte, war über diese Ergebnisse sehr erfreut und äußerte den Wunsch, Kanada zu besuchen, nicht zuletzt, weil er an Chalks Arbeit interessiert war [5].

Wie man in Vergessenheit gerät

Foster und Chalk veröffentlichten 1926 und 1928 zwei Notizen in Nature sowie 1929 einen vollständigen Bericht über das Experiment in den Proceedings of the Royal Society of London [6]. Doch trotz der anfänglichen Begeisterung seitens Bohr und Schrödinger wurde das Foster-Chalk-

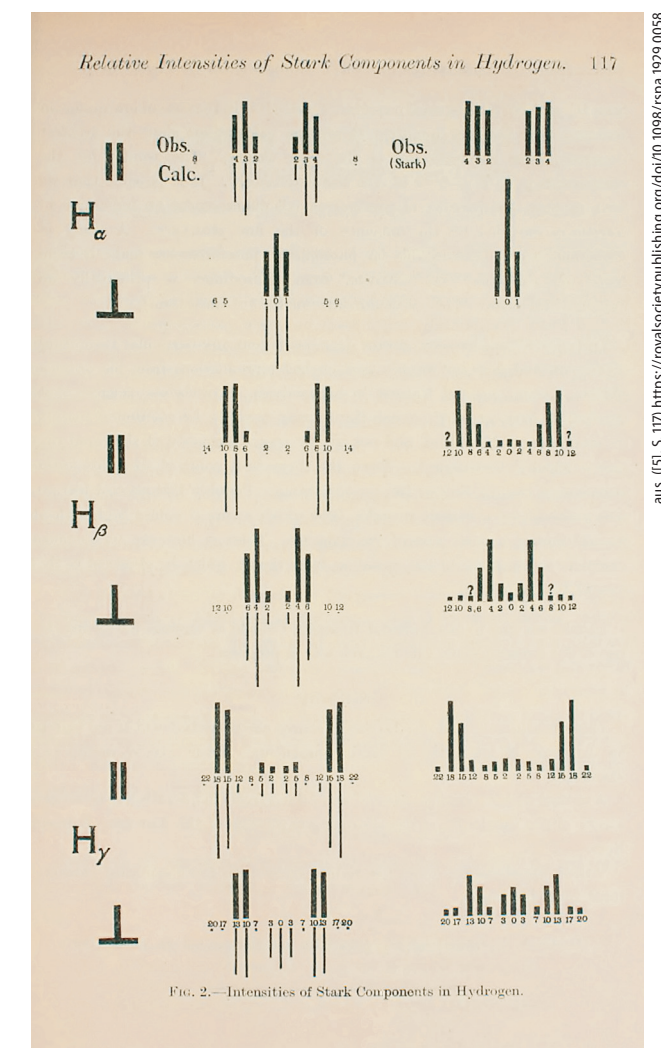


Abb. 1 Vergleich der Intensitäten von Stark-Komponenten im Wasserstoff aus dem Foster-Chalk-Experiment mit den von Erwin Schrödinger berechneten Intensitäten. Die Linien auf der rechten Seite zeigen die früheren Beobachtungen von Johannes Stark.



Experiment bis vor kurzem in historischen Darstellungen zur Entwicklung der Quantenphysik zumeist übersehen. Für diese Vernachlässigung gibt es drei Gründe:

- Erstens benötigte die Quantenmechanik kein *experimentum crucis*, um akzeptiert zu werden, worauf zuerst der amerikanische Wissenschaftshistoriker Stephen Brush hingewiesen hatte. Denn die Akzeptanz der Quantenmechanik beruhte darauf, bekannte experimentelle Ergebnisse innerhalb eines in sich kohärenten theoretischen Rahmens zu reproduzieren [7].

■ Zweitens maß Foster den Daten von Chalk zu wenig Bedeutung bei, weil sie relativ einfach und klar waren. Stattdessen gab er seinen eigenen Beobachtungen des Stark-Effekts in Helium und den matrixmechanischen Berechnungen den Vorrang, die er mit Werner Heisenbergs Unterstützung durchführte. Beide wohnten in der gleichen Pension in Kopenhagen, sie wurden Freunde und arbeiteten im Rahmen der Quantenmechanik gemeinsam am Helium-Spektrum. So trug Heisenberg schließlich auch zur Abwertung der Bedeutung des Foster-Chalk-Experiments bei, etwa wenn er sich nach dem Krieg zwar gern an seine Zusammenarbeit mit Foster erinnerte, aber nicht mehr erwähnte, dass es Laura Chalk gewesen war, die zuvor Schrödingers wellenmechanische Berechnungen überprüft hatte [8].

- Drittens verließ Chalk 1931 die physikalische Forschung und entschied sich den damaligen Geschlechterrollen entsprechend für den Lehrerberuf und die Ehe. In ihren späteren Memoiren äußerte sie sich zufrieden mit ihren Lebensentscheidungen und versicherte, dass sie sich im Großen und Ganzen nicht diskriminiert gefühlt habe. Aber in ihrer Zeit nach der Promotion gab es durchaus Fälle von geschlechtsspezifischer Diskriminierung, als ihr etwa zunächst ein Postdoc-Stipendium verweigert wurde

aufgrund des Gerüchts, dass sie verlobt sei, was nicht der Fall war. 1936 verlor sie schließlich ihren Lehrauftrag in McGill aufgrund von Anti-Nepotismus-Regeln, welche die Anstellung von Eheleuten am gleichen Universitätsdepartment verboten.

Dozentin auf Abruf

Nach Verlust ihres Lehrauftrags unterrichtete Laura Chalk nur noch gelegentlich „nach Bedarf“, zum Beispiel einen Crashkurs in Elektrizitätstheorie für fünfhundert Angehörige der kanadischen Luftwaffe, die während des Zweiten Weltkriegs zu Radaroffizieren ausgebildet wurden, oder große Einführungskurse für Studenten der Ingenieurwissenschaften, die nach dem Krieg vom Department of Veterans Affairs finanziert wurden. Ihr ganzes Leben lang sah sie die Physik jedoch als mathematisch und abstrakt an und daher als unattraktiv für die meisten Frauen, die sich ihrer Meinung nach „mehr für die sozialen Probleme der Welt“ als für die reine Wissenschaft interessierten [1]. Laura Chalk starb 1996 im Alter von 92 Jahren.

Literatur

- [1] Eine ausführlichere Darstellung erscheint in Kürze unter dem Titel „Laura Chalk and the Stark Effect“ in *P. Charbonneau et al.* (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 2025, <https://bit.ly/411Sz1d>
- [2] *L. Chalk*, Long Experience and a Happy Existence *M. Gillett* in: *A. Beer* (Hrsg.), *Our Own Agendas. Autobiographical Essays by Women Associated with McGill University*, McGill-Queen's University Press, Montreal 1995
- [3] *M. Rayner-Canham* und *G. Rayner-Cahnam*, *Harriet Brooks, Pioneer Nuclear Scientist*, McGill-Queen's University Press, Montreal 1992
- [4] *Y. Gingras*, *Physics and the Rise of Scientific Research in Canada*, McGill-Queen's University Press, Montreal 1991
- [5] *Foster-Eve Correspondence in Arthur S. Eve Fonds*, McGill University Archives
- [6] *J. S. Foster* und *L. Chalk*, *Proc. Roy. Soc. London A* **123**, 108 (1929)
- [7] *S. Brush*, *Making 20th Century Science*, New York 2015
- [8] *S. Rozental* (Hrsg.), *Niels Bohr. His Life and Work as Seen by his Friends and Colleagues*, North Holland, New York 1967

Die Autorin

Daniela Monaldi ist Assistant Professor am Department of Science, Technology and Society an der York University in Toronto. Ihre jüngsten Arbeiten befassen sich einerseits mit der Geschichte der Bose-Einstein-Statistik und andererseits mit Frauen in der Geschichte der Quantenphysik.



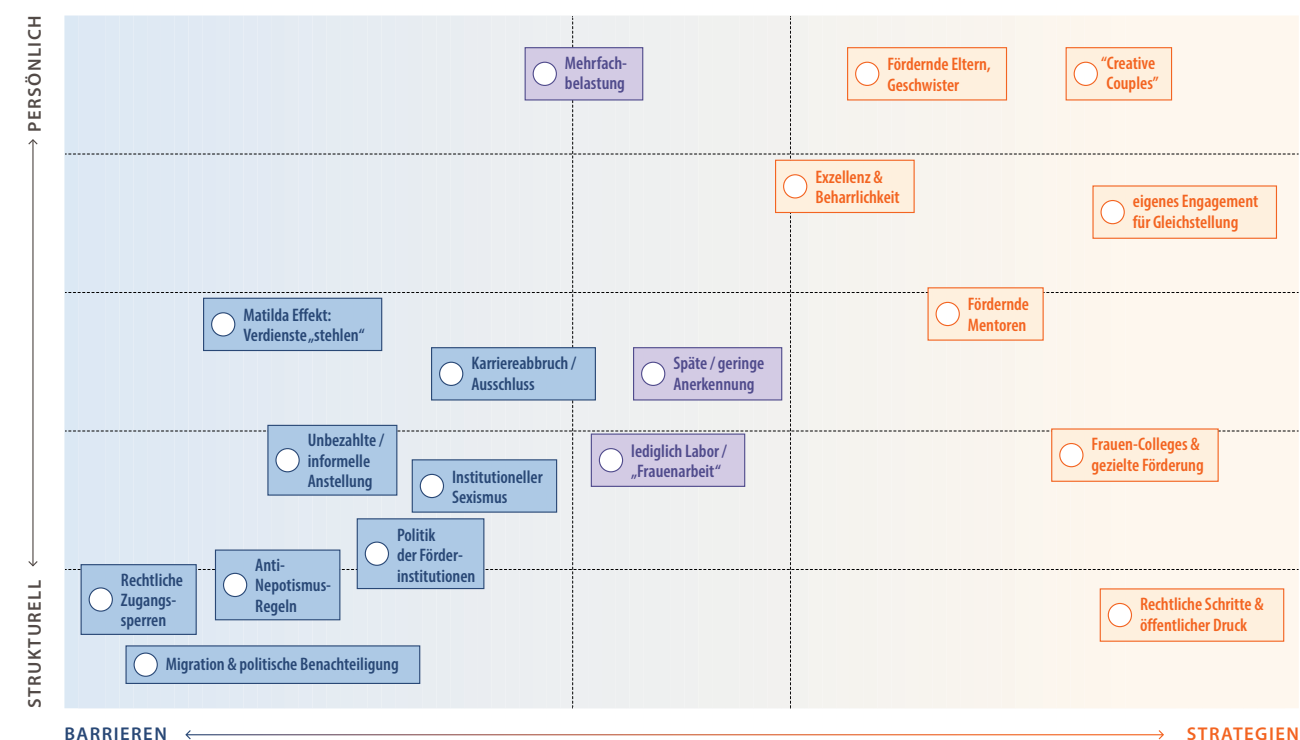
Dr. Daniela Mondali, Department of Science, Technology and Society,
York University, Norman Bethune College, 170 Campus Walk, Toronto,
Ontario, Canada

Anregungen zur Diskussion

Jeder Lebensweg einer Quantenphysikerin war individuell – aber jeder ist es wert, genauer betrachtet zu werden. Zu verschiedenen Zeiten und an unterschiedlichen Orten waren die Barrieren und die Chancen für eine Karriere in der Quantenphysik andere. Auch spielten private und individuelle Vorbehalte und Ermutigungen eine Rolle. Frauen fanden schließlich unterschiedliche Strategien, zur Quantenphysik beizutragen. Vielfach stießen sie an Grenzen, manchmal konnten sie diese überwinden, häufig gelang dies erst mit Verzögerung.

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.

1 Chalk	6 Monroe
2 Goepfert	7 Wu
3 Hermann	8 Mensing
4 van Leeuwen	9 Sponer
5 Friedman	10 Dewey



Notizen



Maria Goeppert Mayer

Die spätere Nobelpreisträgerin leistete einen wichtigen Beitrag zur Theorie der Zwei-Photonen-Absorption.

Johannes-Geert Hagmann

Die deutsch-amerikanische theoretische Physikerin Maria Goeppert Mayer ist vor allem für ihre Mitentwicklung des Schalenmodells des Atomkerns bekannt, die ihr den Nobelpreis einbrachte. Bisher weniger beachtet ist jedoch ihre frühe grundlegende Arbeit in der Quantenphysik zur Theorie der Zwei-Photonen-Absorption.

Der große Moment ist gekommen: In den festlich erleuchteten Sälen des Stockholmer Konzerthauses, inmitten einer erlesenen, in Fracks und Abendroben gekleideten Gesellschaft, erhebt sich Maria Goeppert Mayer¹⁾ und wechselt ein kurzes Lächeln mit ihrem Nachbarn. „Im Namen der Akademie gratuliere ich Ihnen herzlich und bitte Sie, den Nobelpreis für Physik für das Jahr 1963 aus den Händen seiner Majestät des Königs entgegenzunehmen.“ Als erst zweite Frau in der

Geschichte wird sie Physik-Nobelpreisträgerin, zusammen mit Eugene Wigner und J. Hans D. Jensen (Abb. 1). Als der großgewachsene König Gustaf VI. Adolf sich vorbeugt, um ihr die Urkunde und die Medaille zu überreichen, bewegt sich Mayers rechter Arm nach vorne, gefolgt – etwas langsamer – vom linken. Dieser ist teilweise gelähmt aufgrund eines Schlaganfalls, den sie drei Jahre zuvor erlitten hatte und der ihre Gesundheit dauerhaft beeinträchtigte. Der feierliche Moment der Anerkennung ihrer herausragenden wissenschaftlichen Leistungen ist daher auch von Zerbrech-

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Mai 2025, S. 38, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/23133>



¹⁾ Maria Goeppert Mayer schrieb sich selbst für den überwiegenden Teil ihres Lebens, ohne den Umlaut und den Bindestrich zu verwenden.

◀ Maria Goeppert Mayer unterhält sich bei der University of Michigan Summer School im Jahr 1930 mit ihrem Mann Joseph Mayer, rechts neben ihr steht der Physiker und Astronom Robert Atkinson.

lichkeit geprägt. Goeppert Mayers Karriere lässt sich aus unterschiedlichen, miteinander verwobenen Perspektiven lesen: durch höchste wissenschaftliche Errungenschaften zum einen, aber auch durch persönliche Herausforderungen, Schicksalsschläge und Widerstände, die sie als Wissenschaftlerin in ihrer Zeit erlebte.

Maria Goeppert wurde am 28. Juni 1906 in Kattowitz im heutigen Polen als Einzelkind geboren. Ihr frühes Interesse an den Naturwissenschaften wurde durch ihren Vater gefördert – einen Kinderarzt, der von 1910 als Universitätsprofessor in Göttingen wirkte. Nach dem erfolgreichen Abschluss einer privaten, von Frauenrechtlerinnen betriebenen Schule, die Mädchen den Zugang zum Abitur ermöglichte, begann sie ein Studium der Mathematik an der Universität Göttingen und der University of Cambridge. Schon bald entwickelte sie jedoch ein großes Interesse an der Physik und beschloss, im Anschluss an ihr Studium eine Promotion unter der Betreuung von Max Born aufzunehmen. Wissenschaftlich hatte Born, neben seinen wichtigen Beiträgen zu den Grundlagen der Quantenphysik, die just in dieser Zeit entstanden, auch ein großes Interesse an Fragestellungen der theoretischen Optik.

Doppelt absorbiert oder emittiert

Das optische Problem, das Goeppert in ihrer Dissertation untersuchte, befasste sich mit der Absorption und Emission von Lichtquanten in Atomen und Molekülen [1]. Bereits 1928 hatte der indische Physiker C. V. Raman experimentell den zuvor theoretisch vorhergesagten Effekt der inelastischen Streuung von Licht an Molekülen nachgewiesen. In ihrer Doktorarbeit untersuchte Goeppert, unter welchen Bedingungen Atome und Moleküle zwei Photonen – oder Lichtquanten, wie sie in der damaligen deutschen Fachliteratur meist genannt wurden – gleichzeitig absorbieren oder emittieren könnten. Dies geschah im theoretischen Rahmen der damals neu entstandenen Quantenmechanik (Abb. 2a).

Beim Prozess der Zwei-Photonen-Absorption nimmt ein Atom oder ein Molekül gleichzeitig zwei Lichtquanten gleicher oder unterschiedlicher Frequenzen auf, um einen Übergang zwischen zwei Energieniveaus zu ermöglichen. Da die Energie eines einzelnen Photons nicht für den Übergang ausreicht, muss die Absorption der beiden Photonen nahezu gleichzeitig erfolgen. Maria Goeppert Mayers Berechnungen basieren auf Diracs Theorie der Emission, Absorption und Dispersion sowie der Störungstheorie. Daraus leitete sie ab, dass Zwei-Photonen-Prozesse mit einer nicht verschwindenden Wahrscheinlichkeit auftreten können, die für solche Übergänge allerdings sehr klein ausfällt. [2].

Der experimentelle Nachweis gelang 1961 den Physikern Wolfgang Kaiser und Charles Garrett aus Deutschland bzw. Großbritannien an den Bell Labs in Murray Hill (Abb. 2b)

[3]. Beide Wissenschaftler nutzten den im Jahr 1960 neu entwickelten Rubinlaser, um ein mit Europium dotiertes CaF_2 spektroskopisch anzuregen. Die Zwei-Photonen- oder Mehrphotonen-Absorption ist heute ein wichtiges Werkzeug, etwa für die Mikroskopie lebender Gewebe, und ermöglicht eine tiefenauflösende Darstellung von Strukturen, die mit anderen mikroskopischen Techniken nicht erreichbar ist.

Neues und nicht einfaches Wirken in den USA

In der Veröffentlichung der Dissertation in den Annalen der Physik hebt Goeppert in den Danksagungen zwei Personen hervor: ihren Doktorvater und Mentor Max Born, zu dessen Familie sie eine enge Beziehung pflegte, sowie ihren Studienkollegen und Freund Victor Weisskopf, der ebenfalls bei Born promovierte [4]. In Göttingen hatte Goeppert einen engen akademischen Freundeskreis, zu dem unter anderem Hertha Sponer und James Franck gehörten. 1929 kam der amerikanische Physiko-Chemiker Joe Edward Mayer als Postdoc nach Göttingen, um mit Franck und Born zu arbeiten. Da Mayer sein erstes Zimmer in Göttingen in der Wohnung der Familie Goeppert zur Untermiete bezog, lernte er dort Borns Doktorandin Maria Goeppert kennen, die er 1930 heiratete.



Abb. 1 Maria Goeppert Mayer wird von König Gustav VI. Adolf von Schweden zum Gala-Bankett nach der Nobelpreisverleihung begleitet.

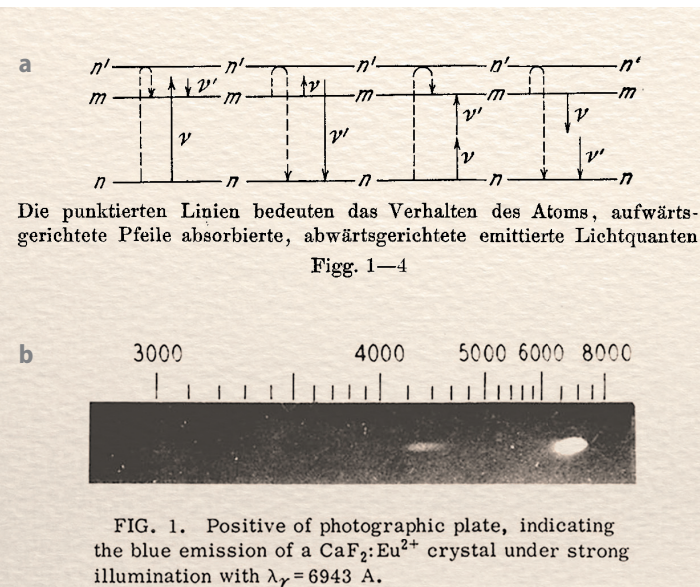


Abb. 2 Maria Goeppert Mayers Übergangsschema bei Zwei-Photonen-Prozessen (a). Der linke schwache Punkt zeigt die von Wolfgang Kaiser und Charles Garrett im Jahr 1961 beobachtete Fluoreszenz bei 425 nm, induziert durch einen Zwei-Photonen-Absorptionsprozess (b).

Die Ehe brachte für Goeppert Mayer weitreichende Veränderungen mit sich: Sie folgte fortan zunächst der akademischen Laufbahn ihres Mannes, von 1930 an nach Maryland, wo Joe Mayer eine Position an der Johns Hopkins University angenommen hatte. Die Universität bot seiner Frau keine reguläre Anstellung an, da Nepotismus-Regeln an amerikanischen Universitäten oft die Anstellung verheirateter Paare untersagten. Somit musste sich Maria Goeppert Mayer in gleich mehrfacher Hinsicht an ihr neues Leben anpassen – nicht nur kulturell an das Leben in Amerika, sondern auch wissenschaftlich an ihr Umfeld: An der Johns Hopkins fand sie keine wissenschaftlichen Kooperationspartner, die im Bereich der Quantenmechanik aktiv waren. Gemeinsam mit ihrem Mann und dem österreichisch-amerikanischen Physiker Karl Herzfeld arbeitete sie daher an Problemen der Physikalischen Chemie. Auch kehrte sie in den Sommern vor der nationalsozialistischen „Machtübernahme“ [5] im Jahr 1933 nach Deutschland zurück, um mit Born weiterzuarbeiten.

Forschung, Familie und Nobelpreis

Maria Goeppert Mayers Kinder, eine Tochter und ein Sohn, wurden in den 1930er-Jahren in Baltimore geboren. Als die Familie nach New York zog, wo Joe Mayer eine neue Stelle an der Columbia University antrat, erhielt Maria Goeppert Mayer 1941 ihre erste bezahlte Teilzeitanstellung: Sie unterrichtete Mathematik am Sarah Lawrence College, einer privaten Hochschule für Frauen etwa 15 Meilen nördlich von Manhattan. Während des Zweiten Weltkriegs bat das Substitute Alloys Material Laboratory an der Columbia University darum, Goeppert Mayer von ihrer Tätigkeit als Dozentin freizustellen, um mit photochemischen Untersuchungen das Manhattan-Projekt zu unterstützen [6]. Die

persönlichen Herausforderungen, denen sich Goeppert Mayer bei der Verfolgung ihrer akademischen Ziele und dem Balanceakt ihres Familienlebens stellen musste, sind in einem Brief an die Präsidentin des Colleges von 1944 erkennbar: „Meine eigenen Wünsche sind mir schon seit einiger Zeit sehr klar geworden. [...] Zum einen ist es ziemlich anstrengend, mindestens 40 Stunden pro Woche im Labor zu verbringen und dabei zwei Kinder zu haben.“

Goepfert Mayers eigene akademische Laufbahn entwickelte sich weiter, als sie 1946 eine Stelle als „freiwillige“ Professorin an der Universität Chicago und eine Teilzeitstelle als Forscherin am National Argonne Laboratory erhielt. Mit diesem Schritt folgte sie erneut dem Weg ihres Mannes und erarbeitete sich ein neues wissenschaftliches Feld, die Physik der Atomkerne. Im Jahr 1948 begann sie mit ihren Forschungen zur Theorie der magischen Zahlen und des Schalenmodells, die ausschlaggebend für die Verleihung des Nobelpreises für Physik im Jahr 1963 waren.

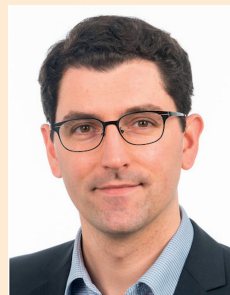
Kurz nach ihrer Berufung zur ordentlichen Professorin an der Universität San Diego im Jahr 1960 – im Alter von 54 Jahren – erlitt sie einen Schlaganfall, der ihre Gesundheit fortan stark beeinträchtigte. Ungeachtet der körperlichen Einschränkungen setzte sie ihre Forschungs- und Lehrtätigkeiten bis zu ihrem Tod im Jahr 1972 fort. Maria Goeppert Mayer, eine Pionierin der Physik auf vielen Gebieten, darunter auch in der frühen Quantenmechanik, blieb nach Marie Skłodowska Curie über ein halbes Jahrhundert lang die einzige Physik-Nobelpreisträgerin, bis 2018 Donna Strickland den Preis erhielt.

Literatur

- [1] *M. Göppert-Mayer*, *Annalen der Physik* **401**, 273 (1931)
- [2] *B. Masters*, *The Origins of Maria Göppert's Dissertation on Two-Photon Quantum Transitions at Göttingen's Institutes of Physics 1920 – 1933*, in: *Traditions and Transformations in the History of Quantum Physics*, MPG, Berlin 2013, <https://tinyurl.com/2hyzeu7u>
- [3] *W. Kaiser* und *C. Garrett*, *Phys. Rev. Lett.* **7**, 229 (1961)
- [4] *J. Dash*, *A Life of One's Own: Three Gifted Women and the Men They Married*, Harper & Row, New York 1973
- [5] Zur kritischen Diskussion des Begriffs: *N. Frey*, *Vierteljahrshefte f. Zeitgesch.* **31** (1), 136 (1983)
- [6] Maria Goeppert Mayer: Revisiting Science at Sarah Lawrence College: www.sarahlawrence.edu/archives/exhibits/maria-goeppert-mayer-exhibit/

Der Autor

Johannes-Geert Hagmann
(FV Geschichte der Physik, FV Didaktik der Physik) leitet seit 2016 die Hauptabteilung Technik im Deutschen Museum München. Er hat die aktuelle Sonderausstellung „Licht und Materie“ zur Quantenoptik mitkonzipiert und kuratiert. Derzeit ist er kommissarischer Bereichsleiter für Forschung-Archiv-Bibliothek.



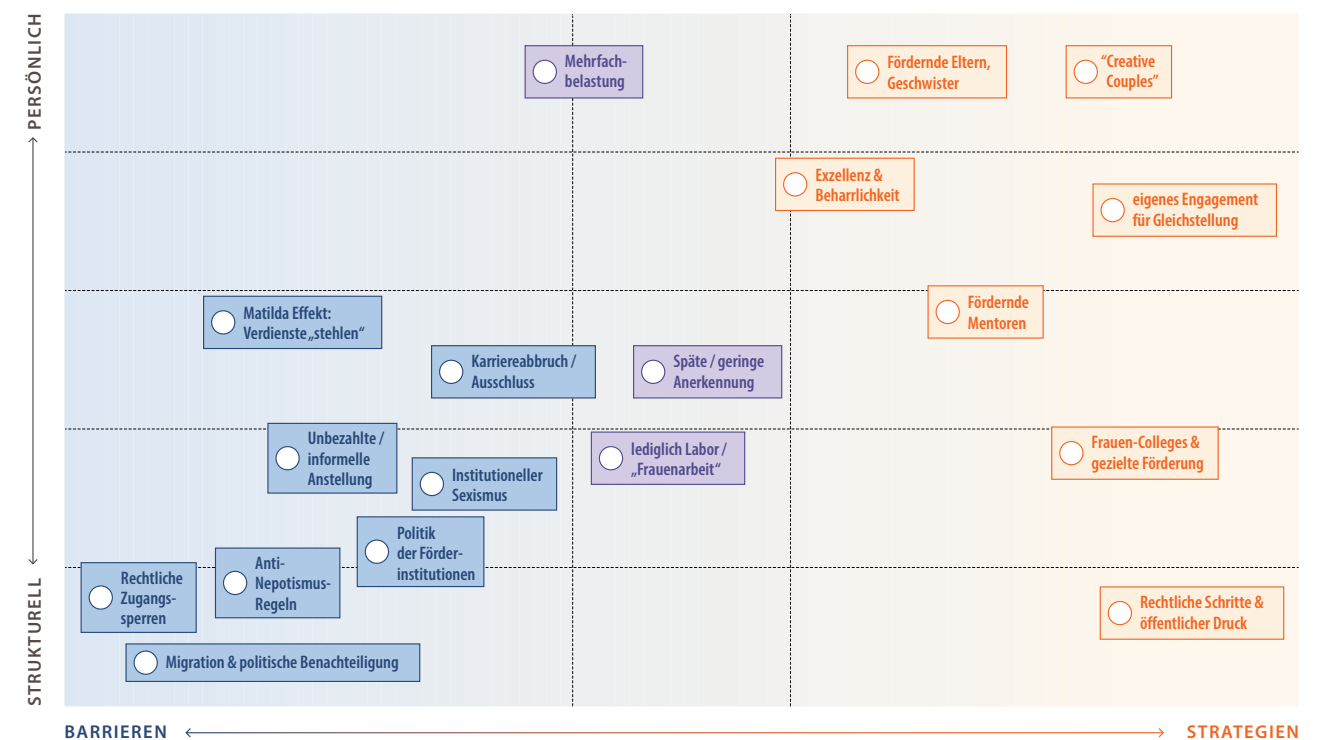
Dr. Johannes-Geert Hagmann, Deutsches Museum, Museumsinsel 1,
80538 München

Anregungen zur Diskussion

Jeder Lebensweg einer Quantenphysikerin war individuell – aber jeder ist es wert, genauer betrachtet zu werden. Zu verschiedenen Zeiten und an unterschiedlichen Orten waren die Barrieren und die Chancen für eine Karriere in der Quantenphysik andere. Auch spielten private und individuelle Vorbehalte und Ermutigungen eine Rolle. Frauen fanden schließlich unterschiedliche Strategien, zur Quantenphysik beizutragen. Vielfach stießen sie an Grenzen, manchmal konnten sie diese überwinden, häufig gelang dies erst mit Verzögerung.

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.

1 Chalk	6 Monroe
2 Goeppert	7 Wu
3 Hermann	8 Mensing
4 van Leeuwen	9 Sponer
5 Friedman	10 Dewey



Notizen

Grundlagen der Quantenmechanik.

31

§ 7.

Der Zirkel in NEUMANNs Beweis.

Es fehlt indessen nicht an Bemühungen, solche Entdeckungen, die von neuem eine Chance für exakte Vorausberechnungen aller Messungsergebnisse liefern könnten, prinzipiell als unmöglich zu erweisen. Besonders weit durchgearbeitet ist dieser Beweis in NEUMANNs mathematischer Durchbildung des Formalismus.⁶ Eine eingehende Prüfung zeigt aber auch hier, daß diese mathematisch sonst einwandfreie Argumentation in ihren formalen Voraussetzungen eine der zu beweisenden These äquivalente Aussage ohne Begründung einführt. Sie ist in dem folgenden Ansatz enthalten: Es sei irgend eine Schar physikalischer Systeme dieser Schar $\mathcal{S}$ seien physikalische Größen, die an den Systemen dieser Schar gemessen werden können; unter dem Erwartungswert von $\mathcal{X}$ ($\text{Erw}(\mathcal{X})$) sei der Mittelwert der Messungsergebnisse verstanden, die sich bei einer $\mathcal{X}$ -Messung an allen Systemen der Schar einstellen, der Wert also, der als das wahrscheinliche Ergebnis einer Messung an irgend einem nicht näher bezeichneten Element der Schar $\mathcal{S}$ zu erwarten ist.

Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik.

Von
Grete Hermann.

© Archiv der Friedrich Ebert Stiftung Bonn / Bad Godesberg AdSD. Signatur: 6/FOT 189903

Grete Hermann

Eine Brückenbauerin zwischen Physik, Philosophie und Politik

Andrea Reichenberger

Grete Hermann war eine Pionierin in der mathematisch-physikalischen Grundlagenforschung. Mitte der 1930er-Jahre setzte sie sich intensiv mit Johann (John) von Neumanns Überlegungen zu verborgenen Variablen in der Quantenmechanik auseinander.

Grete Hermann wurde am 2. März 1901 in Bremen geboren. Sie studierte Mathematik, Physik und Philosophie in Göttingen und Freiburg und promovierte 1925 bei der Mathematikerin Emmy Noether mit einer Dissertation zur „Frage der endlich vielen Schritte in der Theorie der Polynomideale“. Nach ihrer Promotion arbeitete Grete Hermann als private Assistentin beim Philosophen Leonard Nelson, einem Freund und Kollegen David Hilberts. Nach Nelsons Tod 1927 veröffentlichte sie zusammen mit Minna Specht Nelsons Arbeiten und hielt Vorträge zu seinem Werk. Specht war eine führende Figur des Internationalen Sozialistischen Kampfbunds ISK, einer kleinen intellektuellen Elite aus Göttingen.

Daher war es kein Zufall, dass Grete Hermann ihre beiden wichtigsten Aufsätze zur Philosophie der Quanten-

mechanik in der von Nelson begründeten „Neuen Folge der Abhandlungen der Fries'schen Schule“ publizierte. Die heute antiquiert klingenden Titel der Aufsätze – „Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik“ [1] und „Über die Grundlagen physikalischer Aussagen in den älteren und den modernen Theorien“ [2] – behandeln zur damaligen Zeit hoch aktuelle Fragen nach dem revolutionären Charakter der Quantenphysik. Grete Hermann argumentierte in beiden Arbeiten, dass der Indeterminismus der Quantenmechanik zwar bedeute, dass sich die Ergebnisse einer Messung nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorausberechnen lassen. Daraus folge aber nicht, dass

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Juni 2025, S. 34, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/22725>



quantenmechanische Vorgänge akausal bzw. nichtkausal seien. Die Nichtlokalität verschränkter Zustände und nicht die Widerlegung der Kausalität führe den Laplaceschen Determinismus der klassischen Mechanik ad absurdum [3]. Diese beiden Aufsätze Grete Hermanns entstanden in ihrem schriftlichen und mündlichen Austausch mit Werner Heisenberg, Carl Friedrich von Weizsäcker und anderen Kollegen während und bereits vor ihrem Aufenthalt im Heisenberg-Seminar im Sommersemester 1934 in Leipzig [4].

Im September 1934 nahm Grete Hermann am 8. Internationalen Kongress für Philosophie in Prag teil. Sie beteiligte sich an einer Diskussionsreihe zu spezifischen Themen der Philosophie. Am selben Ort fand als Satellitentagung zur Hauptveranstaltung der in der Philosophiegeschichte berühmt gewordene Erste Internationale Kongress für Einheit der Wissenschaft statt. Auf diesem lernte Grete Hermann Vertreter des Wiener Kreises kennen, darunter Moritz Schlick und Otto Neurath. Zwei Jahre später, vom 21. bis 26. Juni 1936, fand in Kopenhagen der Zweite Internationale Kongress für Einheit der Wissenschaft statt. Hermann war erneut unter den Teilnehmenden [5]. Niels Bohr, der Kopenhagen als Veranstaltungsort vorgeschlagen hatte, eröffnete den Kongress mit einer Begrüßung in seinem Haus. Er war es auch, der gemeinsam mit Philipp Frank in der ersten Rede das Rahmenthema des Kongresses, „Kausalität in der Physik und Biologie“, vorstellte.

Anfang September 1936 lud Grete Hermann selbst zu einer Tagung ein, die am Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung an der Universität Heidelberg stattfand und sich der naturphilosophischen Interpretation des physikalischen Erkennens widmete. Sie hatte die Tagung mit dem Ziel organisiert, den Dialog zwischen Physik und Philosophie zu fördern und Vertreter unterschiedlicher Disziplinen und Schulen zur vertieften Auseinandersetzung mit Fragen- oder Problemstellungen der aktuellen physikalischen Forschung zusammenzubringen, wie dies auch schon in Kopenhagen der Fall war. Die Ergebnisse der Heidelberger Tagung wurden im sechsten und letzten Band der Neuen Folge der Abhandlungen der Fries'schen Schule publiziert, deren Herausgeberschaft Grete Hermann gemeinsam mit dem Medizinernobelpreisträger Otto Meyerhof und Minna Specht übernommen hatte [6].

Die Reihe erschien im Verlag „Öffentliches Leben“, dessen Geschichte eng mit dem Widerstand des ISK gegen den Nationalsozialismus verbunden ist. Als aktives ISK-Mitglied publizierte Grete Hermann in den 1930er-Jahren unter verschiedenen Pseudonymen unter anderem in der antifaschistischen Zeitschrift „Der Funke“. Ihre Artikel bieten einem Sozialdarwinismus und einer Rassenideologie ebenso die Stirn wie einem Rechtspositivismus [7].

Wiederentdeckt als Kritikerin John von Neumanns

1934 ging Grete Hermann nach Dänemark, um dort ihre antifaschistische Arbeit und Tätigkeit an dem von Minna Specht und anderen dorthin verlagerten Landerziehungsheim Walkemühle auf Østrupgaard fortzusetzen. Zwei Jahre zuvor hatte John von Neumann mit seinem Buch „Die mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik“

einen wichtigen Grundstein für die kanonische Formulierung der Quantenmechanik auf axiomatischer Basis gelegt [8]. Darin behandelte er auch die Frage, ob es möglich ist, „verborgene Parameter“ in die Quantenmechanik einzuführen. Bei nichtkommutierenden Observablen spielt die Reihenfolge der Messungen eine Rolle. Ohne gemeinsame Eigenzustände variieren die Messergebnisse mit der Reihenfolge der Messungen und streuen bei Wiederholungen. Von Neumann behauptete, dass unter der Voraussetzung des von ihm vorgeschlagenen Quantenformalismus eine Einführung verborgener Variablen nicht ohne Widerspruch möglich ist. Wenn diese existierten, ließen sich streuungsfreie Koordinatenzustände konstruieren. Solche Zustände sind jedoch im Hilbert-Raum-Formalismus der Quantenmechanik unmöglich.

Unter der Überschrift „Der Zirkel in Neumanns Beweis“ kritisierte Grete Hermann in ihrem 1935 publizierten Artikel den von Neumannschen Beweis [9]. Die Annahme der linearen Additivität der Erwartungswerte sei im Fall von nichtkommutierenden Observablen, die quantenmechanische Zustände charakterisieren, nicht gerechtfertigt. 2024 haben Robert Golub und Steven K. Lamoreaux – bezugnehmend auf Arbeiten von Dennis Dieks (2018), Pablo Acuña (2021) und anderen – von Neumanns Argumentation und auch Grete Hermanns Kritik detailliert analysiert [10]. Dabei stellten sie klar, dass von Neumann nicht behauptete, dass die lineare Additivität der Erwartungswerte eine notwendige Voraussetzung für die Ableitung dispersionsfreier (streuungsfreier) Zustände sei, vielmehr folgte sie aus der Annahme dispersionsfreier Zustände. Hermanns Kritik am Beweis von John von Neumann legte daher keinen Fehler in der Beweisführung offen, sondern zeigte vielmehr die Grenzen der Aussagekraft und Reichweite des von Neumannschen Beweises. Unmöglichkeitbeweise, die messtheoretische Aussagen betreffen, haben nur auf der mathematisch-formalen Basis Gültigkeit, von der ausgehend der Beweis geführt wird. In diesem Fall ist dies der Hilbert-Raum-Formalismus und Borns Wahrscheinlichkeitsinterpretation.

Rückblickend hatte Grete Hermann also recht, wie Dennis Dieks [10] bemerkt, dass die Annahme der Linearität der Erwartungswerte in der Quantenphysik für nicht-kommutierende Observablen nicht zu überprüfen und folglich nicht trivial ist. Denn für nicht-kommutierende Observablen kann (anders als in der klassischen statistischen Me-



Grete Hermann um 1970

Als der deutsch-israelische Physiker und Wissenschaftsphilosoph Max Jammer Grete Hermann darüber zur Rede stellte, erwiderte sie ihm in einem Brief vom 11. April 1968, dass es ihr darum ging deutlich zu machen, dass es John von Neumann entgegen seiner Behauptung nicht gelungen sei nachzuweisen, dass Quantenphänomene akausal seien [12].

Emigration und Wirken nach dem Weltkrieg

Der Wiederaufbau und die damit verbundenen politischen und pädagogischen Verpflichtungen hinderten Grete Hermann nicht daran, am politischen Diskurs um die Risiken der Anwendung physikalischer Forschung im nuklearen Kontext und am philosophischen Diskurs um die Grundlagen der Physik teilzunehmen. Sie befürwortete die antinukleare Bewegung „Kampf dem Atomtod“ in den 1950er-Jahren in der Bundesrepublik und nahm mit einem Vortrag zu den Grundlagen der Quantenmechanik an den „Gesprächen von Zürich“ 1952 unter der Schirmherrschaft der UNESCO teil. Im Wesentlichen knüpfte Grete Hermann

dabei an das Thema „Die Kausalität in der Physik“ an [13], zu dem sie 1948 einen Beitrag verfasst hatte [14], der wiederum ihre Thesen der Vorkriegszeit aufgriff. In allen ihren Beiträgen ging es Grete Hermann dabei immer auch um das subtile Verhältnis von Ethik und Wissenschaft. Für sie ließen sich ethische Normen und Werte nicht durch wissenschaftliche Erkenntnisse verifizieren oder falsifizieren, sondern lagen der wissenschaftlichen Forschung zugrunde.

Grete Hermann fungierte von 1961 bis 1978 als Vorsitzende der Philosophisch-Politischen Akademie [15]. Sie starb am 15. April 1984 in ihrer Heimatstadt Bremen [16, 17].

Literatur

- [1] *G. Hermann*, Abhandlungen der Fries'schen Schule, N. F. **6:2**, 69 (1935), auch in: [17], S. 204
- [2] *G. Hermann*, Abhandlungen der Fries'schen Schule, N. F. **6:3/4**, 309 (1937), auch in: [17], S. 275
- [3] Weiterführend zu Grete Hermanns Argumentation: *A. Reichenberger*, in: *P. Charbonneau et al.* (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 2025, S. 309 [im Erscheinen]
- [4] *S. Miller* und *H. Müller* (Hrsg.), In der Spannung zwischen Naturwissenschaft, Pädagogik und Politik: zum 100. Geburtstag von Grete Henry-Hermann, Philosophisch-Politische Akademie e.V., Bonn 2001
- [5] *G. Hermann*, Erkenntnis **6:1**, 342 (1936), auch in: [17], S. 273
- [6] *A. Reichenberger*, in: *K. Hermann* und *B. Schwitzer* (Hrsg.), *Der Geist der kritischen Schule*, Metzler, Berlin 2024, S. 271
- [7] *K. Hermann* und *B. Neißer* (Hrsg.), *Grete Henry-Hermann: Sittlichkeit und Vernunft*, Springer, Wiesbaden 2023
- [8] *V. von Neumann*, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, Springer, Berlin 1932
- [9] *G. Hermann*, Abhandlungen der Fries'schen Schule, N. F. **6:2**, 69 (1935)
- [10] *P. Acuña*, Euro. J. Phil. Sci. **11:2**, 1 (2021); *D. Dieks*, Stud. Hist. Philos. Sci. B **60**, 136 (2017); *R. Golub* und *S. K. Lamoureaux*, Academia Quantum **1:1** (2024)
- [11] *J. S. Bell*, Rev. Mod. Phys. **38**, 447 (1966)
- [12] *A. Reichenberger*, Physics Today **77:9**, 44 (2024)
- [13] *A. Reichenberger*, Appendix: Contribution to the Third Zürich Dialogue, April 20, 1951, Übersetzung des Manuskripts im Magdalena Aebi Nachlass, Zentralbibliothek Zürich, in [3], S. 328
- [14] *G. Henry-Hermann*, Studium Generale **1:6**, 375 (1948)
- [15] *I. Hansen-Schaberg*, Prof. Dr. Grete Henry-Hermann (1901 – 1984), in: Akten-Einsicht, LIT Verlag, Berlin 2012, S. 104
- [16] *E. Crull* und *G. Bacciagaluppi* (Hrsg.), *Grete Hermann: Between Physics and Philosophy*, Springer, Dordrecht 2016
- [17] *K. Hermann* (Hrsg.), *Grete Henry-Hermann: Philosophie – Mathematik – Quantenmechanik*, Springer VS, Wiesbaden 2019

Die Autorin

Andrea Reichenberger war bis Februar 2025 Vertretungsprofessorin für Technikgeschichte an der TU München und davor Nachwuchsforschungsgruppenleiterin am Department Mathematik an der Universität Siegen. Sie leitet derzeit ein DFG-Projekt (Projektnummer: 550233858) an der TU München, das zum Ziel hat, Beiträge von Frauen in der Geschichte der Quantenphysik sichtbar zu machen.

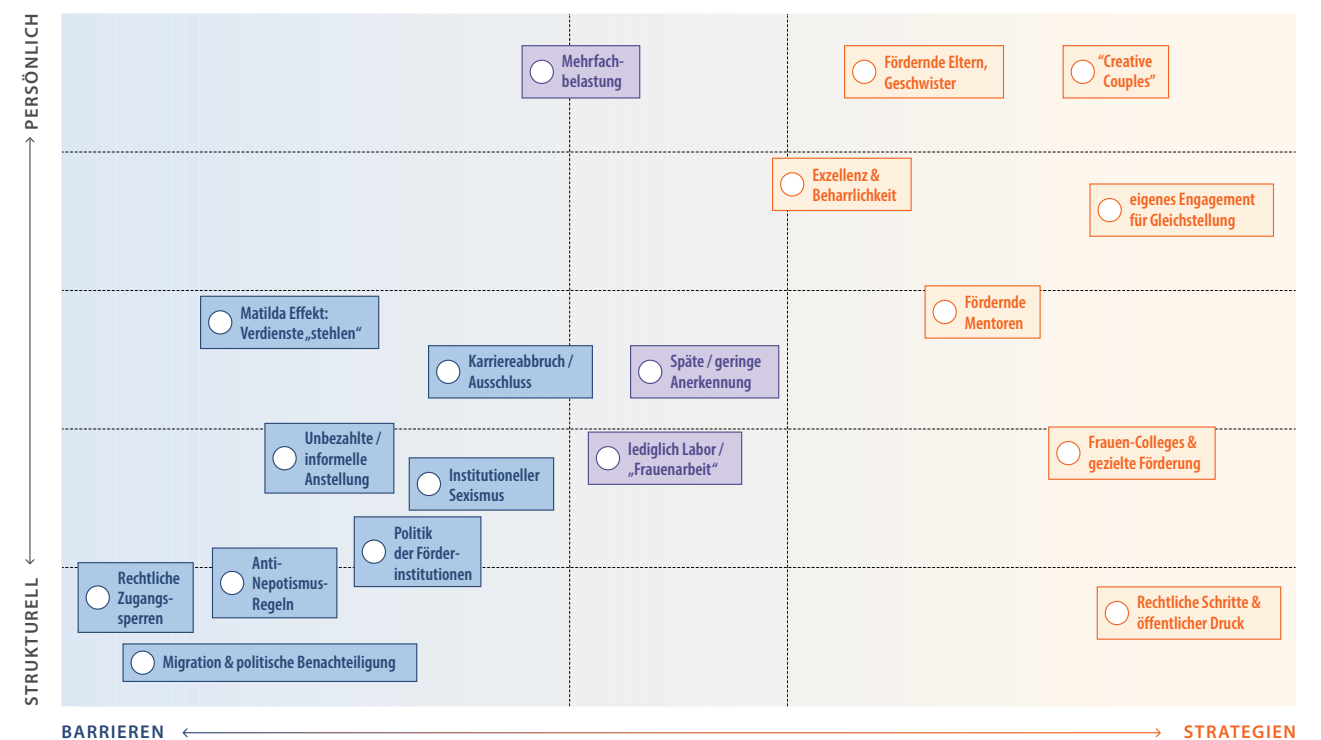


Dr. Andrea Reichenberger, TUM School of Social Sciences and Technology, Department of Science, Technology and Society, c/o Deutsches Museum, Museumsinsel 1, 80538 München

Anregungen zur Diskussion

Jeder Lebensweg einer Quantenphysikerin war individuell – aber jeder ist es wert, genauer betrachtet zu werden. Zu verschiedenen Zeiten und an unterschiedlichen Orten waren die Barrieren und die Chancen für eine Karriere in der Quantenphysik andere. Auch spielten private und individuelle Vorbehalte und Ermutigungen eine Rolle. Frauen fanden schließlich unterschiedliche Strategien, zur Quantenphysik beizutragen. Vielfach stießen sie an Grenzen, manchmal konnten sie diese überwinden, häufig gelang dies erst mit Verzögerung.

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.



Notizen

1 Chalk	6 Monroe
2 Goepfert	7 Wu
3 Hermann	8 Mensing
4 van Leeuwen	9 Sponer
5 Friedman	10 Dewey



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-

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Juli 2025, S. 42, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/22774>



◀ 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].

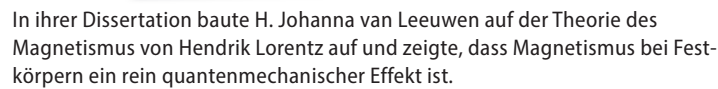
Zuvorgekommen

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



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

Mit freundlicher Genehmigung der Familie van Leeuwen



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.

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

- [1] *H. J. van Leeuwen*, Vraagstukken uit de electronentheorie van het magnetisme (Probleme aus der Elektronentheorie des Magnetismus), Eduard IJdo, Leiden 1919
- [2] *A. Cox* 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. Jorgens & 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. Blaauuboer* 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

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

1 Chalk	6 Monroe
2 Goepfert	7 Wu
3 Hermann	8 Mensing
4 van Leeuwen	9 Sponer
5 Friedman	10 Dewey





Freda Friedman Salzman

Der Weg der amerikanischen Physikerin führte von der Kernphysik zur Soziobiologie.

Jens Salomon

Die Physikerin Freda Friedman Salzman beschäftigte sich mit der Wechselwirkung zwischen Kernbestandteilen. Vor dem Hintergrund struktureller Diskriminierung verlor sie zeitweise ihre Professur, die sie in einem langwierigen Prozess zurückgewinnen konnte. Sie engagierte sich fortan in der Frauenbewegung und bekämpfte insbesondere Ideen der Soziobiologie.

Freda Friedman wurde am 12. Mai 1927 in Brooklyn, New York, als Tochter russisch-jüdischer Immigranten geboren [1]. In ihrem Zuhause wurde Wert auf Wissenschaft gelegt, und sie erhielt Lob für ihre mathematischen Fähigkeiten. Gleichzeitig überschatteten ihr repressiver Vater und die Umstände der Weltwirtschaftskrise ihre Jugend. Ihr Studium am Brooklyn College, das sie 1949 mit einem Physik-Bachelor abschloss, finanzierte sie über verschiedene Nebenjobs. In dieser Zeit lernte sie ihren Kommilitonen George Salzman kennen, den sie 1948 heiratete. Ihre Karrieren sollten eng verwoben bleiben.

Melba Phillips, eine Kernphysikerin und Physikdidaktikerin, die ihre Promotion bei Robert Oppenheimer abgeschlossen hatte – der Oppenheimer-Phillips-Prozess trägt ihren Namen –, bestärkte das Ehepaar, das Studium an der University of Illinois fortzusetzen. Friedman Salzman schloss dort 1951 mit einem Master ab und wurde innerhalb von zwei Jahren beim theoretischen Hochenergiephysiker Geoffrey Chew promoviert. Das Pion, dem die Rolle eines Vermittlers der Wechselwirkung zwischen den Kernbestandteilen, Protonen und Neutronen, zugeschrieben wur-

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Oktober 2025, S. 38, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/22904>



◀ Dieser Schnappschuss ist zwar leider etwas unscharf, zeigt aber Freda Friedman Salzman unverstellt im Austausch mit ihrem Ehemann (sitzend) und einem Kollegen.

de, war bereits 1947 entdeckt worden. Dennoch gelang es zunächst nicht, diese Wechselwirkung theoretisch zufriedenstellend zu beschreiben. Bei dieser Frage erzielte Chew 1953 einen Durchbruch mit dem nach ihm benannten Modell, das die experimentell gemessene Streuung von Pionen an Kernbestandteilen recht gut beschrieb. Anlass genug, das Chew-Modell an anderen Streuprozessen zu prüfen. Dies übernahm Friedman Salzman im Rahmen ihrer Promotion für die Produktion von Pionen durch an Kernbestandteilen gestreuten Photonen. Sie kam zu dem Schluss, dass das Chew-Modell einige, aber nicht alle Züge der zugehörigen experimentellen Daten reproduzierte.

Chew verfeinerte sein Modell und legte 1954 dar, dass die neueste Version nun auch die Produktion von Pionen via Photonen erfolgreich beschreibe. Zur Evaluation seines neuen Modells nutzte er allerdings nur ein Näherungsverfahren. Zu dessen Validierung löste Freda Friedman Salzman die Gleichungen des neuen Chew-Modells zusammen mit James Snyder noch im selben Jahr numerisch. Beide nutzten dafür einen der frühen Großrechner, den Illinois Automatic Computer (ILLIAC).

Nach dem gleichen Muster sollte Friedman Salzman wenige Jahre später eine Fortentwicklung des Chew-Modells untersuchen. Um das Modell auf eine theoretisch solidere Basis zu stellen, bauten es Geoffrey Chew und sein Kollege Francis Low 1956 zum „Chew-Low-Modell“ aus. Im folgenden Jahr löste Friedman Salzman, diesmal zusammen mit ihrem Ehemann, die Gleichungen des neuen Modells erstmals numerisch – abermals mit dem ILLIAC. Das Vorgehen des Ehepaars wurde als „Chew-Low-Salzman-Methode“ bekannt, wobei der Name nicht erkennen lässt, dass beide Ehepartner an ihr beteiligt waren. Dies mündete in die erste wissenschaftliche Abhandlung Friedman Salzmanns, die breiteren Anklang fand, und sie bildete auch den Auftakt zu einer ganzen Reihe von Arbeiten des Ehepaars. Besonders große Resonanz fanden ihre Veröffentlichungen zu langreichweitigen Wechselwirkungen zwischen Pionen und Kernbestandteilen Anfang der Sechzigerjahre. Wie intensiv die Forschung des Paares war, zeigt die Anekdote, dass in ihrem Schlafzimmer zeitweilig eine Kreidetafel stand.

Während ihrer Postdoc-Karriere steuerte Freda Friedman Salzman verschiedene Stationen in den USA und Europa an. Zwischen 1955 und 1965 führten sie Forschungsaufenthalte an Universitäten in Madison (Wisconsin), Rochester (New York) und Boulder (Colorado) sowie nach Rom und an das CERN. Bereits 1954 und 1958 hatte sie zwei Töchter zur Welt gebracht, die gemeinsam mit ihr und ihrem Ehemann umzogen. Um Zeit für ihre wissenschaftliche Arbeit zu gewinnen, beschäftigte das Ehepaar ältere Betreuerinnen für die Kinder; zudem schränkte Friedman Salzman ihr Sozialleben zugunsten ihrer Familie ein. Sie haderte jedoch mit diesen Maßnahmen, die sie für ein gelungenes Familienleben als unzulänglich ansah.

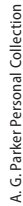
Stellenverlust und Gegenwehr

1965 traten sowohl Friedman Salzman als auch ihr Mann Professuren an der University of Massachusetts in Boston an. Im Gegensatz zu ihrem Mann erhielt Freda Friedman Salzman lediglich eine befristete Professur auf einer Teilzeitstelle. Ein Hintergrund der Ungleichbehandlung war die Anti-Nepotismus-Politik der Universität, die unbefristete Stellen für beide Ehepartner an derselben Fakultät ablehnte. Dem Ehepaar wurde jedoch suggeriert, dass die Befristung von Friedman Salzmanns Stelle nur formeller Natur sei und sie mit einer regelmäßigen Verlängerung ihres Vertrages rechnen dürfe.

Dessen ungeachtet beendete die Universität 1969 das Vertragsverhältnis mit Freda Friedman Salzman, nachdem der Kanzler der Universität bereits 1967 angekündigt hatte, die Anti-Nepotismus-Politik strenger auslegen zu wollen. Das Ehepaar sah dies als bloßen Vorwand an. Nach George Salzman sei es lediglich darum gegangen, gegen ein Ehepaar vorzugehen, das Fehler und Fehlverhalten des Kanzlers zuvor offen kritisiert habe. Innerhalb der Universität und darüber hinaus fand Friedman Salzman zwar Unterstützung, doch das konnte die Verwaltung der Universität nicht zum Einlenken bewegen. In der Folge wandte sich Freda Friedman Salzman an eine Anwältin der Massachusetts Commission Against Discrimination (MCAD), die ihr eröffnete, dass ein klarer Fall von Diskriminierung vorliege. Eine Untersuchung habe nämlich ergeben, dass die



Freda Friedman Salzman nutzte für ihre numerischen Berechnungen der Wechselwirkungen in Atomkernen den ILLIAC I, einen Computer, der 1952 an der University of Illinois gebaut und bis Anfang der 60er-Jahre betrieben wurde.



Anti-Nepotismus-Politik an der University of Massachusetts regelmäßig zur Diskriminierung von (Ehe-)Frauen führe. Friedman Salzman legte daraufhin Beschwerde bei der MCAD sowie auf Bundesebene ein. Als die Behörden sie weiter hinhielten, wandte sie sich obendrein an die Öffentlichkeit. Erst nachdem der Druck zu groß geworden war, gaben die Behörden schließlich nach und Friedman Salzman erhielt ihre Stelle 1972 zurück. Drei Jahre später wurde sie entfristet.

Diese schwierige Zeit wirkte sich auf Friedman Salzmans Gesundheit aus. Dennoch engagierte sie sich nun aktiv in der Frauenbewegung. So veröffentlichte sie 1977 und 1979 zwei Artikel in der Zeitschrift der Organisation „Science for the People“, in denen sie sich gegen Ideen aussprach, die der „Soziobiologie“ zugeschrieben wurden. Insbesondere wandte sie sich gegen die Auffassung, gesellschaftliche Ungleichheiten seien biologisch bzw. genetisch bedingt und

Allein aufgrund ihrer gemeinsamen Forschungstätigkeit weist Freda Friedman Salzmans Biografie Parallelen zu der ihres Mannes auf. Es gab aber auch Abweichungen zwischen ihren Lebensläufen – wie der geschilderte Stellenverlust –, die ein Licht auf die „Last des Frauseins“ („weight of being a woman“) werfen, die Friedman Salzman empfand. Gleichzeitig ging aber diese Last auch produktiv in ihrem Forscherinnengeist auf, als sie ihr Interesse in ihrem letzten Lebensjahrzehnt zunehmend von physikalischen hin zu gesellschaftlichen Themen wandte.

[1] Eine Langfassung dieses Artikels findet sich in: *P. Charbonneau et al.* (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics: Beyond Knabenphysik*, Cambridge University Press, Cambridge 2025

[2] *F. Friedman Salzman*, *Science for the People* **9**(4), 27 (1977) und **11**(2), 20 (1979)

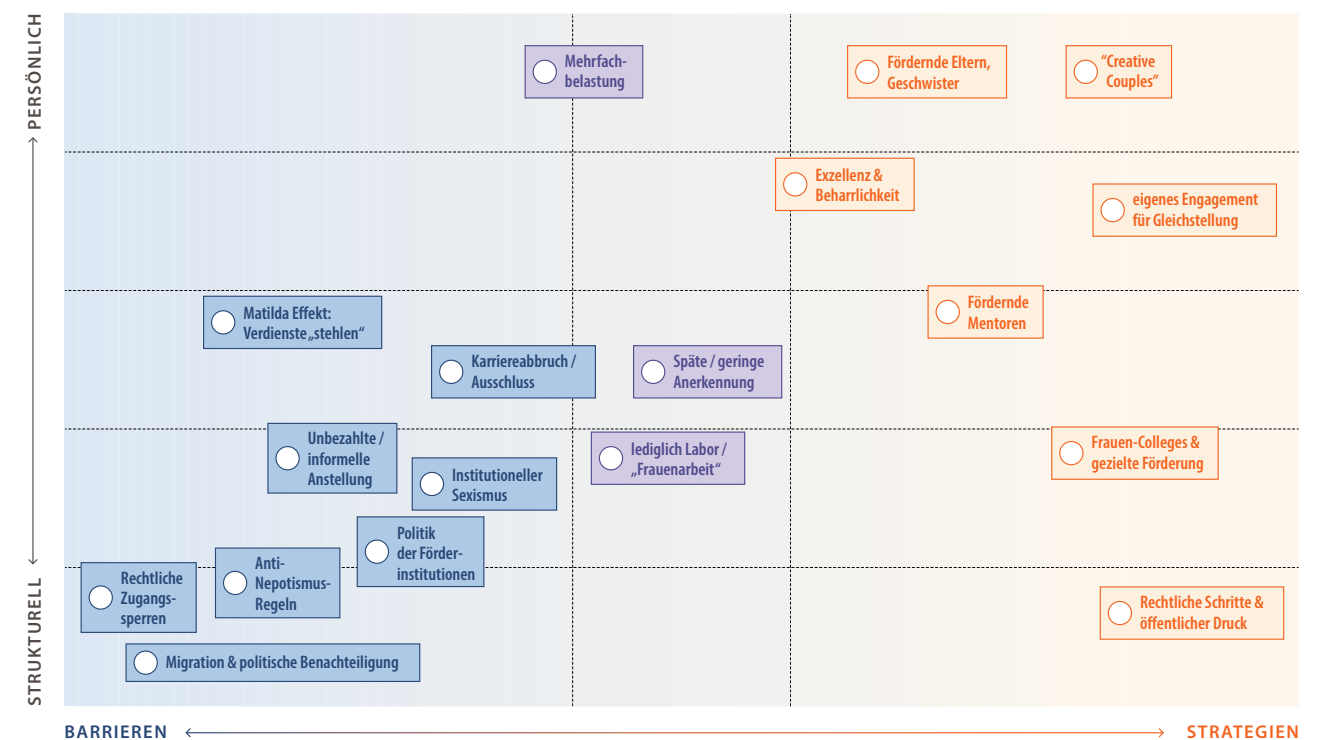
Jens Salomon befasste sich in seiner Promotion mit dem Laufen und der Vereinigung der Eichkopplungen des Standardmodells der Teilchenphysik. Seine jüngsten Arbeiten befassen sich einerseits mit der Phänomenologie der starken Wechselwirkung und andererseits mit der Geschichte der S-Matrix-Theorie der Teilchenphysik. Er hat am Karlsruher Institut für Technologie, an der WWU Münster und am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte geforscht.



Anregungen zur Diskussion

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.

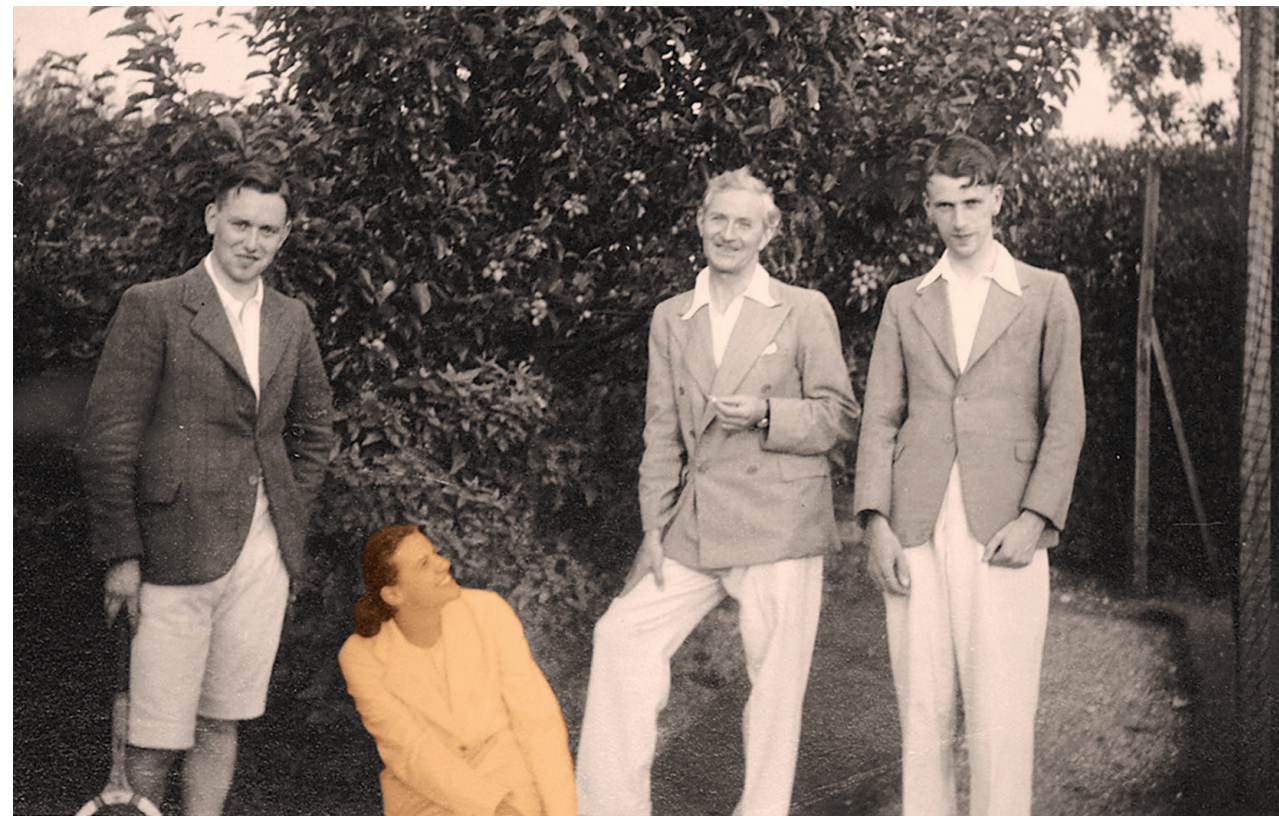
1 Chalk	6 Monroe
2 Goepfert	7 Wu
3 Hermann	8 Mensing
4 van Leeuwen	9 Sponer
5 Friedman	10 Dewey



Elizabeth Monroe

Die Mathematikerin und Chemikerin brachte in Cambridge die Computer in die Molekülphysik.

Patrick Charbonneau



Elizabeth Monroe (sitzend) und andere Gruppenmitglieder (stehend) bei einem geselligen Tennistreffen im Garten von John Lennard-Jones (Mitte), um 1937. Monroe, die etwa 1,85 Meter groß war, ragte normalerweise über ihre Kollegen hinaus, was möglicherweise deren männliches Selbstbewusstsein kränkte.

Nach Abschluss ihrer Bachelorarbeit in Mathematik unter der Leitung von Emmy Noether am Bryn Mawr College, einem Frauen-College in der Nähe von Philadelphia in den USA, trat Elizabeth Monroe der Forschungsgruppe von John Lennard-Jones an der Universität Cambridge bei. Dort leistete sie Pionierarbeit bei der Anwendung von Computern in der Molekularphysik und baute und betrieb einen Differentialanalysator zur Lösung der quantenmechanischen Beschreibung einfacher Moleküle.

Elizabeth Monroe, geboren 1913, wuchs in einer wohlhabenden Familie außerhalb von New York City auf und besuchte renommierte Privatschulen [1]. Ihr Vater, ein ausgebildeter Chemieingenieur, förderte ihr Interesse an Naturwissenschaften und Technik, darunter auch ihr Basteln an elektrischen Schaltkreisen. Im College faszinierten sie die Anwendungsmöglichkeiten der neuen Quantenmechanik auf Moleküle, sodass sie zugleich Che-

mie und Mathematik studierte. Emmy Noether, die 1933 von Göttingen nach Bryn Mawr emigriert war, betreute ihre Abschlussarbeit über moderne Algebra. Als Jahrgangsbeste 1935 erhielt Elizabeth Monroe das European Fellowship ihres Colleges, das ihr den Weg nach Cambridge ermöglichte, wo ihre doppelte Qualifikation sie zur perfekten Kandidatin für das Forschungsprogramm von John Lennard-Jones machte, ein Programm, das seine Wurzeln nicht zuletzt in Göttingen hatte.

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Oktober 2025, S. 41, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/22905>



The Papers of Sir John Edward Lennard-Jones, GBR/0014/LJO/13, Churchill Archives Centre, Churchill College, Cambridge

Im Frühjahr und Sommer 1929 besuchte Lennard-Jones, damals Professor für theoretische Physik an der Universität Bristol, das Institut von Max Born in Göttingen. Da Born zu dieser Zeit häufig krank war, nahm der britische Physiker hauptsächlich Kontakt zu jüngeren Mitgliedern von Borns Gruppe auf, vor allem zu Walter Heitler, der zusammen mit Fritz London kurz zuvor eine Theorie der molekularen Bindung vorgeschlagen hatte. Die aufkeimenden Anwendungen der neuen Quantenmechanik auf Moleküle waren hochinteressant. Bei einer Faraday-Tagung im folgenden September in Bristol stellte Lennard-Jones ein Ergebnis seiner Göttinger Überlegungen vor: eine Grundlage für eine quantitative Molekülorbitaltheorie der Molekülbindung, die allgemeiner war als die von Heitler und London.

Diese Arbeit führte 1932 zu seiner Berufung nach Cambridge als erster Plummer-Professor für Theoretische Chemie. Die ersten Doktoranden, die er betreute, führten sein Programm fort. Charles Coulsons Dissertation beispielsweise stützte sich auf quantenmechanische Methoden, um „ziemlich genaue Kenntnisse über die einfachsten Moleküle zu erlangen, damit es möglich sein könnte, Eigenschaften anderer Moleküle abzuleiten, die mathematisch weniger gut zu behandeln sind“ [2]. Die rigorose Auseinandersetzung mit diesen komplexeren Systemen erforderte jedoch neue Ansätze.

Als Elizabeth Monroe zu seiner Gruppe stieß, hatte Lennard-Jones gerade ein neues Rechengerät gebaut, einen Differentialanalysator. Ein Physikstudent namens Maurice Wilkes wartete und betreute die neue Maschine, aber für die eigentliche quantenmechanische Untersuchung wurde ein außergewöhnlich begabter Student benötigt – dafür war Monroe genau die Richtige.

Ihr Dissertationsprojekt bestand darin, mithilfe des Analysators die Schrödinger-Gleichung für die elektro-

nische Struktur von einfachen molekularen Ionen mit einem einzigen Elektron zu lösen. Das Ergebnis sollte als Näherung für komplexere Systeme dienen, ähnlich wie allgemeine, auf das Wasserstoffmolekül bezogene Funktionen die quantenmechanische Untersuchung komplexerer Atome ermöglicht hatten.

Obwohl „von dieser Untersuchung nichts Überraschendes zu erwarten war“ [3], wie Monroe selbst schrieb, gelang ihr eine wesentliche Weiterentwicklung der Werkzeuge und Methoden. Sie entwarf und baute nicht nur einen zusätzlichen Integrator für den Analysator, sondern demonstrierte auch das Potenzial von Computern zur Erweiterung des epistemischen Horizonts der Quantenmechanik.

Der erste Cambridge-Analysator verwendete Meccano-Baukastenelemente, um Räder und Scheiben miteinander zu verbinden und Differentialgleichungen durch Integration zu lösen (Abb. 1). Monroe nutzte ihn, um die verallgemeinerte sphärische Wellengleichung zu lösen, auf die sich die Schrödinger-

Wellengleichung für heteronukleare zweiatomige Ionen mit einem einzigen Elektron in der Born-Oppenheimer-Näherung reduziert (Abb. 2). Technisch gesehen handelt es sich bei diesem Problem um eine Verallgemeinerung der Mathieu-Gleichung, die zuvor Vannevar Bush mit dem Differentialanalysator des MIT untersucht hatte. Die sphärische Gleichung war jedoch mechanisch schwieriger zu berechnen.

Für Lennard-Jones war Monroes Forschung auch grundlegend für sein Vorhaben, die damaligen „Computer“ – also Personen, nicht selten Frauen, die Berechnungen durchführten – durch Maschinen zu ersetzen – also analoge Rechner –, die typischerweise wiederum von Frauen bedient wurden. Das führte im Jahr 1937 zur Gründung des Cambridge Mathematical Laboratory.



Elizabeth Monroe im Jahr 1928

Aus Ref. [3], Archiv des Boggs Center



Abb. 1 Differentialanalysator nach dem Cambridge-Meccano-Modell mit den fünf integrierten Einheiten – einschließlich der von Monroe. Der Zeichentisch befindet sich oben rechts. Heute ist das Gerät im Museum of Transport and Technology im neuseeländischen Auckland ausgestellt.

Umstrukturierungen während des Krieges

Als Monroe 1939 ihre Dissertation fertigstellte, nahmen nicht nur die Kriegsgerüchte immer mehr zu, auch die Rechenmaschinen gewannen zunehmend eine strategische Bedeutung. Anfang August wurden die Räumlichkeiten und Geräte des Mathematischen Labors an das britische Versorgungsministerium vermietet, und Lennard-Jones stellte ein Forschungsteam für den Bereich der Ballistik zusammen. Charles Coulson lehnte als Pazifist die Mitarbeit ab, und nachdem Wilkes zur Royal Air Force gegangen war, blieb allein Monroe als führende Expertin für den Analysator. Auf Vorschlag von Lennard-Jones schloss sie sich dem Team gern an.

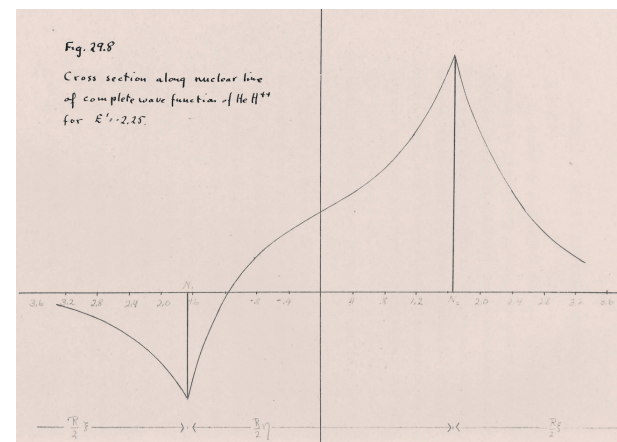
Doch war diese Mitarbeit nur von kurzer Dauer: Denn Ausländer waren von britischen Geheimdienstaufgaben generell ausgeschlossen, und für Elizabeth Monroe ließ sich keine Ausnahme durchsetzen. So kehrte sie im Dezember 1939 in die USA zurück und musste den Analysator und gewissermaßen auch die Quantenmechanik zurücklassen. Sie korrespondierte noch eine Weile mit Wilkes und Lennard-Jones über wissenschaftliche Themen, aber das Leben führte sie auf einen anderen Weg.

Zwei Jahre lang war sie wissenschaftliche Mitarbeiterin in John Kirkwoods chemisch-physikalischer Forschungsgruppe an der Cornell University, wo sie eine Theorie der Kristallisation harter Kugeln [4] entwickelte und schließlich einen Kollegen aus ihrer Forschungsgruppe, Fitzhugh Boggs, heiratete. Danach arbeitete sie im Explosives Research Laboratory außerhalb von Pittsburgh. Dort leitete sie *de facto*, wenn auch nicht *de jure*, eine Forschungsgruppe und entwickelte im Rahmen des Manhattan-Projekts das explosive Linsenverfahren für Kernwaffen.

Wendepunkte nach dem Krieg

Wie viele ihrer Kollegen plante Elizabeth Monroe (oder besser gesagt Dr. Boggs), nach dem Krieg eine Stelle in der industriellen Forschung anzunehmen, und angesichts der Fülle solcher Möglichkeiten für US-Forscher war ihr eine solche Stelle so gut wie sicher. Die Ereignisse im August 1945 änderten jedoch ihre Pläne. Ihr in diesem Monat geborener Sohn zeigte zunehmend Anzeichen einer Entwicklungsstörung, was sie dazu veranlasste, sich von der physikalischen Forschung abzuwenden und der Interessenvertretung entwicklungsbeeinträchtigter Kinder zuzuwenden. Dazu übernahm sie eine führende Rolle in der neu gegründeten Elternorganisation Association for Retarded Children (heute „The ARC“). Ihre Fähigkeit, mit medizinischen Forschern leicht und kompetent in Kontakt zu treten, wurde für die Organisation besonders wertvoll. Einige Jahre später übernahm sie den Vorsitz des Gremiums für geistige Behinderung unter Präsident John F. Kennedy.

Heute würdigt das Boggs Center on Developmental Disabilities der Robert Wood Johnson Medical School in New Jersey das Vermächtnis von Elizabeth Monroe. Wissenschaftlich geriet sie hingegen immer stärker in Vergessenheit. Rasante technologische, geopolitische und auch persönliche Veränderungen hatten mit dazu beige-



Aus Ref. [3], Archiv des Boggs Center

Abb. 2 Wellenfunktion für einen angeregten elektronischen Zustand des HeH^{2+} -Ions, berechnet entlang seiner axialen Richtung unter Verwendung des Differentialanalysators nach dem Cambridge-Meccano-Modell. Solche Querschnitte waren mit standardmäßigen numerischen Methoden nur schwer zu erhalten, weshalb sie in der Literatur aus der Vorkriegszeit relativ selten sind.

tragen, ihre wissenschaftlichen Beiträge unsichtbar werden zu lassen. Man kann sich nur fragen, welchen Stellenwert sie erreicht hätte, wenn sie die Forschung nicht so plötzlich verlassen hätte. Der Verlust für die Wissenschaft war freilich ein Gewinn für die Bürgerrechte benachteiligter Menschen.

Literatur

- [1] Dieser Artikel stützt sich auf eine ausführlichere Darstellung in: P. Charbonneau et al. (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics: Beyond Knabenphysik*, Cambridge University Press, Cambridge 2025
- [2] *Abstracts of Dissertations Approved for the Ph.D., M.Sc. and M.Litt. Degrees in the University of Cambridge During the Academic Year 1936–37*, Cambridge University Press, Cambridge 1937
- [3] E. Monroe, *The Generalized Spheroidal Wave Equations and Their Application [to] Some Problems in Quantum Mechanics with Special Reference to the Two Center Problem*, Dissertation, Cambridge University (1939)
- [4] J. G. Kirkwood und E. Monroe, *On the Theory of Fusion*, J. Chem. Phys. 8, 845 (1940)

Der Autor



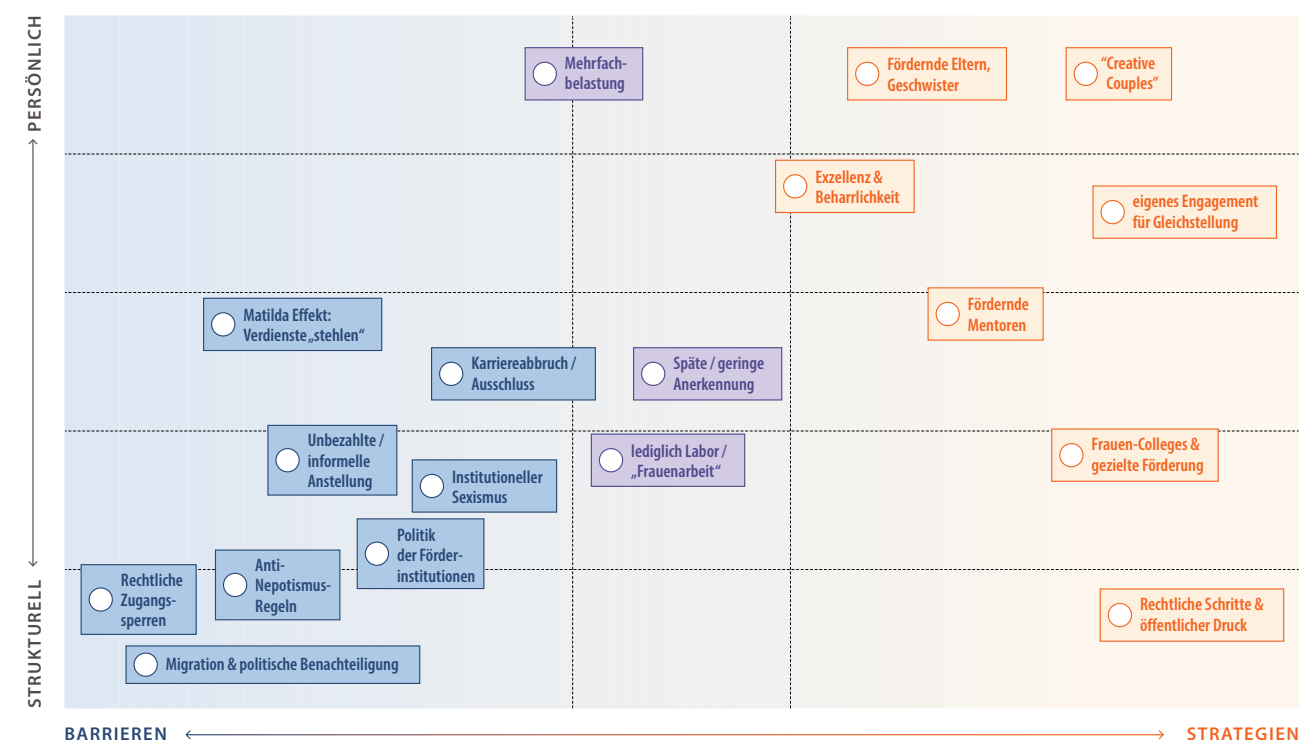
Prof. Dr. Patrick Charbonneau, Fachbereich Physik, Duke University, Durham, North Carolina 27708, USA

Patrick Charbonneau ist Professor für Physik an der Duke University. Er erforscht glasartige Materialien und andere frustrierte Systeme und leistet durch Projekte in den Bereichen Quantenphysik, statistische Physik und Lebensmittelgeschichte einen Beitrag zur Wissenschaftsgeschichte.

Anregungen zur Diskussion

Jeder Lebensweg einer Quantenphysikerin war individuell – aber jeder ist es wert, genauer betrachtet zu werden. Zu verschiedenen Zeiten und an unterschiedlichen Orten waren die Barrieren und die Chancen für eine Karriere in der Quantenphysik andere. Auch spielten private und individuelle Vorbehalte und Ermutigungen eine Rolle. Frauen fanden schließlich unterschiedliche Strategien, zur Quantenphysik beizutragen. Vielfach stießen sie an Grenzen, manchmal konnten sie diese überwinden, häufig gelang dies erst mit Verzögerung.

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.



Notizen



▲ Chien-Shiung Wu auf einer Teilchenphysik-Konferenz in Israel im Jahr 1967

Chien-Shiung Wu

Ihr Nachweis der Quantenverschränkung und ihre frühen Photonenexperimente

Michelle Frank

Am Neujahrstag 1950 veröffentlichten Chien-Shiung Wu und einer ihrer Doktoranden, Irving Shakhnov, auf nur einer Seite in *Physical Review* den weltweit ersten dokumentierten Nachweis von verschränkten Photonen in einem Labor. Einige Wissenschaftshistoriker:innen sind der Ansicht, dass dies ein früher Anstoß für die zweite Quantenrevolution war.

Chien-Shiung Wu wird oft als „die chinesische Marie Curie“ bezeichnet, obwohl sie die meisten ihrer wissenschaftlichen Forschungen in den Vereinigten Staaten durchführte [1]. Sie ist vielleicht am ehesten für ihre Entdeckung der Nichterhaltung der Parität für Teilchen mit schwacher Wechselwirkung bekannt. Ihr Experiment trug dazu bei, dass Chen Ning Yang und Tsung-Dau Lee im Jahr 1957 den Nobelpreis erhielten. Trotz der Bedeutung ihrer Entdeckung wurde Wu weder in diesem Jahr noch danach bei der Nobelpreisvergabe einbezogen. Heute ist allgemein anerkannt, dass sie einen entscheidenden Schritt auf dem Weg zum Standardmodell der Elementarteilchen

geleistet hat, und bisweilen wird argumentiert, dass ihre Entdeckung letztlich Antworten auf die Frage liefern könnte, warum es im Universum etwas und nicht nichts gibt. Mit anderen Worten: Die Nichterhaltung der Parität ist ein Hinweis darauf, warum sich Materie und Antimaterie in den frühesten Momenten des Kosmos nicht vollständig vernichtet haben. Wus Paritätsexperiment von 1956 wurde berühmt, weil es ein physikalisches Gesetz umstieß. Ihre wesentlichen Beiträge zu unserem Verständnis der Quantenverschränkung sind jedoch weniger bekannt und sollen daher hier gewürdigt werden.

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im *Physik Journal*, November 2025, S. 36, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/22967>



Aus China in die USA

Die 1912 geborene Chien-Shiung Wu wuchs in China in einer Zeit auf, in welcher der chinesische Nationalismus und politische Bewegungen wie die Neue Kulturbewegung und die chinesische Bewegung des 4. Mai neue Regierungs- und Gesellschaftsstrukturen sowie neue Rollen für Mädchen und Frauen forderten. Wus Vater eröffnete die erste Grundschule für Mädchen in der Region, und ihre Familie sorgte dafür, dass sie die bestmögliche Ausbildung erhielt. 1936 reiste Wu in die Vereinigten Staaten, um in Physik zu promovieren – in der sicheren Erwartung, mit ihrem Dokortitel wieder nach China zurückzukehren.

In den USA sah sie sich allerdings den neuen politischen Entwicklungen ausgesetzt, etwa den ausgrenzenden Einwanderungsgesetzen, der amerikanischen Kriegsführung und den Repressionen der McCarthy-Ära. Als die Vereinigten Staaten im Dezember 1941 in den Zweiten Weltkrieg eintraten, war Wu gerade Doktorandin an der University of California in Berkeley. Von diesem Zeitpunkt an unterbrachen die internationalen Konflikte für viele Jahre den Kontakt zu ihrer Heimat und ihrer Familie.

Frühe Experimente mit verschränkten Photonen

Wus frühe Arbeiten zur Quantenverschränkung begannen 1949 an der Columbia University, wo sie mit ihrem Doktoranden Irving Shakhnov ein neues Experiment mit Materie und Antimaterie durchführte [2]. Ihre Ergebnisse zeigten, dass Photonenpaare aus der Elektron-Positron-Annihilation verschränkt sind, da diese selbst in einiger Entfernung von der ursprünglichen Wechselwirkung stets rechtwinklig zueinander polarisiert bleiben. Zum Zeitpunkt des Wu-Shakhnov-Experiments von 1949 hatten die Physiker bereits die Grundlagen der Elektron-Positron-Kollisionen verstanden. Der amerikanische Physiker John Archibald Wheeler hatte jedoch ein Experiment vorgeschlagen, um zu zeigen, dass die entstehenden Photonenpaare auch orthogonal zueinander polarisiert sind. Dieser Aspekt der Paartheorie war es, der den aus Chile stammenden Laserphysiker Francisco Duarte Jahrzehnte später dazu veranlasste, ihn als „die Essenz der [Quanten-]Verschränkung“ zu charakterisieren [3].

In der knapp eine Seite langen Veröffentlichung von Wu und Shakhnov kommt das Wort „Verschränkung“ allerdings nicht vor. Stattdessen diskutierten die beiden jenen Test für die „Paartheorie“, den Wheeler 1946 vorgeschlagen hatte. Sie entschieden sich unter anderem deshalb für diesen Test, weil andere ähnliche Experimente ohne schlüssige Ergebnisse geblieben waren. Wu war zuversichtlich, dass ein neuer Szintillationszähler ihre Erfolgsaussichten verbessern würde. In der Tat erzielte sie damit außergewöhnliche Resultate. Das Experiment zeigte „eine hundertfache Steigerung der Koinzidenzzählrate“ im Vergleich zu den früheren Ergebnissen anderer und belegte, dass der von Wheeler vorgeschlagene Test funktionierte. Vor allem aber gelang es Wu und Shakhnov damit, zum ersten Mal verschränkte Photonen im Experiment nachzuweisen.

Shakhnov verlor im Mai 1952 sein Leben im Koreakrieg. Bei

einem Aufklärungsflug für die Marine wurde sein Flugzeug abgeschossen. Die Ergebnisse zu verschränkten Photonen gerieten schon bald nach ihrer Veröffentlichung in Vergessenheit.

Eine „Kettenreaktion“ in der Quantenphysik

Zwanzig Jahre später wiederholte Wu ihr Experiment aus dem Jahr 1949 zusammen mit Leonard Kasday, einem neuen Doktoranden an der Columbia University, und Jack Ullman, einem Postdoc, der sich ihnen anschloss. Diesmal verbesserten die Forscher ihre Messwinkel und verwendeten andere Materialien in ihrer Apparatur. Außerdem sprachen sie die Verschränkung explizit an. Die neuen Ergebnisse bestätigten die ursprünglichen Erkenntnisse von 1949 und erschienen zwischen 1971 und 1975 in drei Artikeln [4].

Die Gesamtheit der Experimente bildete die Grundlage für andere Physikerinnen und Physiker, die sich fragten, ob verborgene Variablen die mysteriösen Verbindungen zwischen räumlich getrennten Photonen erklären könnten. John Clauser, ebenfalls Absolvent der Columbia University, konzipierte den ersten offiziellen Bell-Test und führte ihn zusammen mit mehreren Kollegen durch, um nach Hinweisen auf versteckte Variablen zu suchen [5]. Das Experiment von Clauser überschneidet sich zeitlich eng mit Kasdays Arbeit unter Wu. Später inspirierte es nicht zuletzt Alain Aspect und Anton Zeilinger dazu, Clausers Experiment zu verfeinern und zu verbessern. Dabei fanden sich keine Hinweise auf versteckte Variablen. Im Jahr 2022 erhielten Clauser, Aspect und Zeilinger schließlich den Physik-



Chien-Shiung Wu beim Zusammenbau eines elektrostatischen Generators am Smith College



Chien-Shiung Wu mit drei ihrer Mitarbeiter:innen im Labor an der Columbia University

Nobelpreis „für ihre Experimente mit verschränkten Photonen, mit denen sie die Verletzung der Bell-Ungleichungen nachgewiesen und Pionierarbeit in der Quanteninformationswissenschaft geleistet haben“ [6].

Noch vor der Bekanntgabe der Nobelpreise 2022 veröffentlichte die Physikhistorikerin Indianara Silva einen Artikel, der gerade zur rechten Zeit kam [7]. Sie zeigte darin die entscheidende Ereigniskette auf, die Chien-Shiung Wu mit den Nobelpreisträgern des Jahres 2022 verbindet. Silvas argumentierte folgendermaßen:

- Clauser wurde zu seinem ersten Test für versteckte Variablen inspiriert, nachdem er die Arbeit von John Stewart Bell gelesen hatte.
- Bell wiederum wurde durch eine 1957 von David Bohm und seinem Doktoranden Yakir Aharonov verfasste Arbeit über versteckte Variablen inspiriert.
- Und genau diese Arbeit von Bohm und Aharonov stützte sich auf das Experiment von Wu und Shaknov aus dem Jahr 1949 [8].

Silvas Forschungen zeigten die Zusammenhänge sehr klar auf. Die Arbeit von Wu inspirierte Bohm. Bohm inspirierte Bell. Bell inspirierte Clauser dazu, über sein nobelpreisgekröntes Experiment nachzudenken. Mehr noch, heute wissen wir, dass Clauser, bevor er seinen eigenen Bell-Test begann, auch Wu konsultiert hatte.

Im Anschluss an Silvas Veröffentlichungen erschienen weitere Arbeiten, die Wus Bedeutung für die Verschränkungsgeschichte herausarbeiten. Chon-Fai Kam, Chen-Ning Zhang und Da Hsuan Feng haben zum Beispiel Wus Bedeutung für die Verschränkung hervorgehoben und Yu Shi hat wertvolle neue Details beigetragen [9]. Das Wu-Shaknov-Experiment und die nachfolgenden Arbeiten von Kasday, Ullmann und Wu werden zu Recht als entscheidende Grundlage und Sprungbrett für die nachfolgenden Verschränkungsexperimente gefeiert.

Eine Türöffnerin

Als Wu ihre zweite Runde von Verschränkungsexperimenten leitete, waren die neuen Bürgerrechtsgesetze gerade in den Universitäten angekommen. Sie drängte die Leitung der Columbia University unermüdlich dazu, ungerechte Hindernisse zu beseitigen, die Frauen von der vollen Teilhabe an der Wissenschaft und der akademischen Welt abgehalten hatten, und leitete neben ihrer Vollzeittätigkeit einen Fakultätsausschuss, der zur Durchsetzung der neuen Schutzbestimmungen beitrug [10]. Wus außergewöhnliche physikalische Entdeckungen und ihre bahnbrechende Führungsrolle waren selbst miteinander verschränkt. Diese starke Kombination hat Wu schon zu Lebzeiten zu einer Ikone gemacht und nach ihrem Tode im Jahr 1997 steht sie bis heute für die volle und faire Teilhabe von Frauen an der Physik.

Literatur

- [1] Vgl. ausführlicher M. Frank, Scientific American (2023): www.scientificamerican.com/article/the-little-known-origin-story-behind-the-2022-nobel-prize-in-physics/, für eine noch detaillierte Darstellung mit vollständigen Referenzen: M. Frank, in: P. Charbonneau et al. (Hrsg.), Women in the History of Quantum Physics, Cambridge University Press, Cambridge 2025, S. 277
- [2] C.-S. Wu und I. Shaknov, Phys. Rev. 77, 136 (1950)
- [3] J. A. Wheeler, Ann. N. Y. Acad. Sci. XLVIII, 219 (1946); F. Duarte, Eur. Phys. J. H 37, 311 (2012)
- [4] L. Kasday, Experimental Test of Quantum Predictions for Widely Separated Photons, in: B. d. Espagnat (Hrsg.), Proc. Int. Sch. Phys. Fermi, Course IL, Academic Press, Cambridge (Mass.) 1971, S. 195; L. Kasday, Dissertation, Columbia University, New York 1972, <https://doi.org/10.7916/5q2y-3494>; L. Kasday, J. Ullman und C.-S. Wu, Il Nuovo Cimento B 25, 633 (1975)
- [5] D. Kaiser, How the Hippies saved Physics, W. W. Norton & Company, New York, London 2011; O. Freire, The Quantum Dissidents, Springer, Heidelberg 2015
- [6] J. Bell, Physik Physique Физика 1(3), 195 (1964); www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/summary
- [7] A. M. Maia Filho und I. Silva, Rev. Bras. Ens. Fis. 41(2) (2019), <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0182>; I. Silva, Chien-Shiung Wu's Contributions to Experimental Philosophy, in: O. Freire Jr. (Hrsg.), The Oxford Handbook of the History of Quantum Interpretations, Oxford University Press, Oxford 2022
- [8] D. Bohm und Y. Aharonov, Phys. Rev. 108, 1070 (1957)
- [9] C.-F. Kam, C.-N. Zhang und D. Feng, Physics Today, Dezember 2024, S. 28: https://digital.physicstoday.org/physicstoday/library/page/december_2024/28/; Yu Shi, arXiv:2502.06458 (2025)
- [10] C. S. Wu Papers, Box 6, Rare Book and Manuscript Library, Columbia University

Die Autorin



Michelle Frank hat einen Juris Doctor von der University of Michigan und einen M.A. in Biography and Memoir vom CUNY Graduate Center. Sie war 2023/24 Sloan Fellow am Leon Levy Center for Biography und wurde 2024/25 zum Public Scholar des National

Endowment for the Humanities gewählt. Sie arbeitet derzeit an einer Biografie über Chien-Shiung Wu, die demnächst bei Basic Books und Ebury Press/Penguin Random House erscheinen wird.

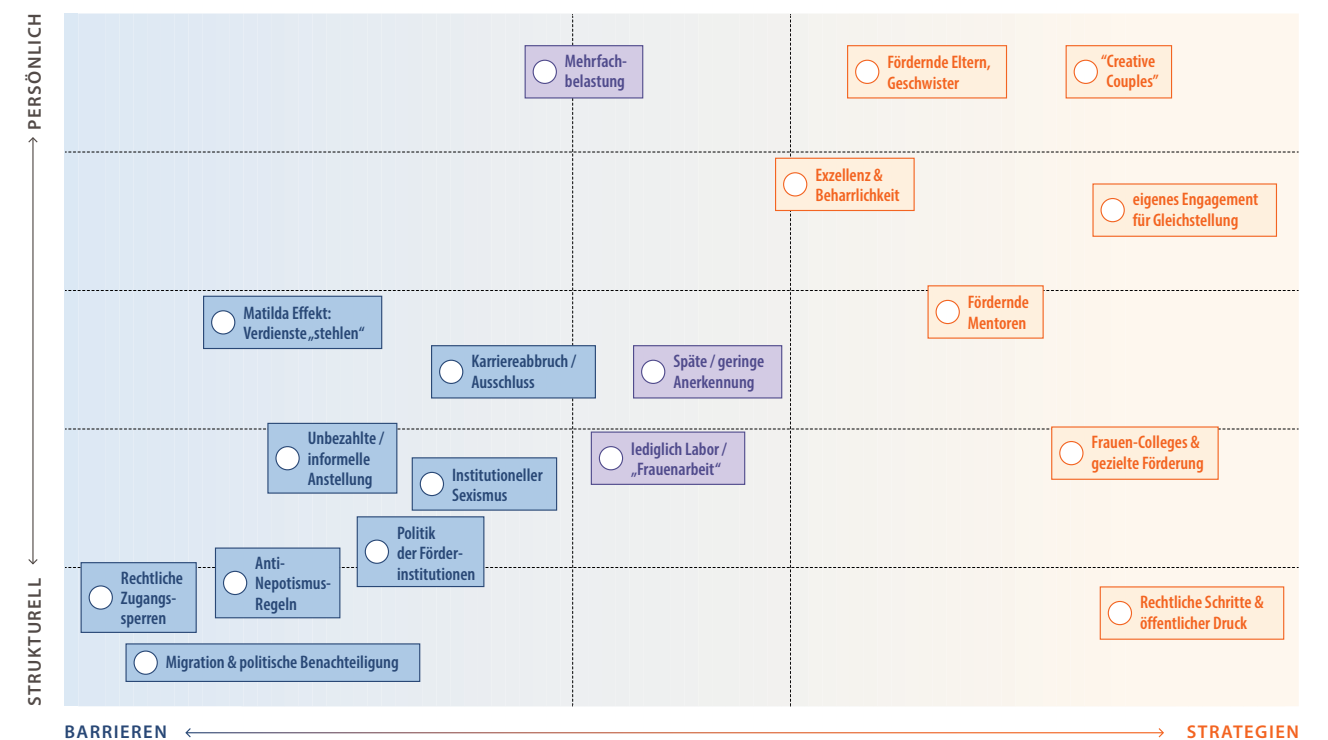
Dr. Michelle Frank, Leon Levy Center for Biography

Anregungen zur Diskussion

Jeder Lebensweg einer Quantenphysikerin war individuell – aber jeder ist es wert, genauer betrachtet zu werden. Zu verschiedenen Zeiten und an unterschiedlichen Orten waren die Barrieren und die Chancen für eine Karriere in der Quantenphysik andere. Auch spielten private und individuelle Vorbehalte und Ermutigungen eine Rolle. Frauen fanden schließlich unterschiedliche Strategien, zur Quantenphysik beizutragen. Vielfach stießen sie an Grenzen, manchmal konnten sie diese überwinden, häufig gelang dies erst mit Verzögerung.

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.

- | | |
|---------------|-----------|
| 1 Chalk | 6 Monroe |
| 2 Goepfert | 7 Wu |
| 3 Hermann | 8 Mensing |
| 4 van Leeuwen | 9 Sponer |
| 5 Friedman | 10 Dewey |



Notizen



Lucy Mensing

Die Physikerin ist eine vergessene Pionierin der Quantenmechanik.

Gernot Münster

Nach der Formulierung der Quantenmechanik durch Werner Heisenberg, Max Born und Pascual Jordan 1925/26 wandten Wolfgang Pauli und Lucy Mensing die neue Theorie erstmals auf reale physikalische Systeme an. Mensing fand dabei als Erste die zulässigen Werte für den quantenmechanischen Bahndrehimpuls.

Im November 1927 bat Paul Ehrenfest seinen vormaligen Doktoranden Samuel Goudsmit, ihm bitte „VERTRAULICH!!!! über die nächsten Zukunftspläne von London und Mensing oder von anderen jungen Theoretikern“ zu berichten, die ihm aufgefallen waren und „die MENSCHLICH SYMPATISCH sind.“ Während Fritz London heute als Physiker noch bekannt ist, ist Lucy Mensing weitgehend in Vergessenheit geraten, obwohl sie in der Frühzeit der Quantenmechanik eine anerkannte Physikerin war. Wer war diese Frau, was hat sie zur Quantenphysik beigetragen und was hat zum frühen Ende ihrer Karriere geführt?

Die am 11. März 1901 in Hamburg geborene Lucy Mensing entschloss sich nach dem Abitur, an der Universität Ham-

burg Mathematik, Physik und Chemie zu studieren, was in der damaligen Zeit ein bemerkenswerter Schritt für eine junge Frau war. Im Studium begeisterte sie sich für theoretische Physik und fertigte im Wintersemester 1923/24 im Institut für theoretische Physik eine Arbeit über zweiatomige Moleküle an, die in der Zeitschrift für Physik publiziert wurde. Diese Arbeit hatte sie noch im Rahmen der „alten Quantentheorie“ auf Grundlage der Bohr-Sommerfeldschen Theorie durchgeführt, die von Elektronenbahnen ausging. In diesem Bereich war auch das Thema ihrer Doktorarbeit bei Wilhelm Lenz angesiedelt. Darin ging es um die Ver-

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Januar 2026, S. 42, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/23065>



◀ Auf dem Weg zur Nobelpreisverleihung legten James Franck (3. v. r.) und Gustav Hertz (2. v. r.) im November 1926 einen Zwischenstopp in Tübingen ein. Das Bild veranschaulicht in sehr guter Weise die männerdominierte, hierarchische Struktur der damaligen Gemeinschaft der Physiker. Lucy Mensing steht neben ihrem Vorgesetzten Alfred Landé (5. v. l.), und Walther Gerlach thront über allen.

breiterung der Spektrallinien von Atomen aufgrund des Stark-Effekts der atomaren bzw. molekularen Felder in einem Gas. Lenz konnte wegen seiner fragilen Gesundheit die Betreuung nicht in der nötigen Weise leisten, sodass Wolfgang Pauli dies übernahm, der zu dieser Zeit Assistent von Lenz war. Während ihrer Promotion lernte Lucy Mensing auch Ernst Ising kennen, der 1924 bei Lenz über ein Modell des Ferromagnetismus promovierte, das als Ising-Modell bekannt geworden ist. Für ihre Dissertation, die Mensing mit sehr guten Noten in allen drei mündlichen Prüfungen im Januar 1925 abschloss, erhielt sie auf Vorschlag von Lenz einen „1. Preis“. Dieser war mit einem Stipendium in Höhe von 500 Mark verbunden, das ihr ermöglichen sollte, ein Forschungssemester an einer anderen Universität zu verbringen.

Anfang 1925 hatte Lucy Mensing bereits an einer Tagung in Göttingen teilgenommen und die Ergebnisse ihrer Doktorarbeit vorstellen können. Da ihr die Atmosphäre auf der Tagung gut gefallen hatte, entschloss sie sich, nach Göttingen zu gehen, wo sie im April 1925 eintraf. Ein zusätzlicher finanzieller Zuschuss von Max Born erlaubte ihr, sogar ein ganzes Jahr dort zu arbeiten.

Damit kam sie genau zu der Zeit nach Göttingen, als Werner Heisenberg seine berühmte Arbeit „Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen“ verfasste. Max Born und sein Assistent Pascual Jordan bauten seine entscheidenden Ansätze zu einer Matrizenmechanik aus, und in der im November 1925 fertiggestellten „Drei-Männer-Arbeit“ erweiterten Born, Heisenberg und Jordan die Theorie auf Systeme mit vielen Freiheitsgraden.

Für Mensing war es ein Glücksfall, sich an der Entwicklung der Quantenmechanik beteiligen zu können. Sie widmete sich, wohl auf Vorschlag von Jordan, der Anwendung der Matrizenmechanik auf das Rotations-Schwingungsspektrum zweiatomiger Moleküle, wie O₂, N₂ oder CO. Währenddessen gelang es Pauli in Hamburg, die Rydberg-Formel für das Wasserstoffatom mit rein algebraischen Methoden herzuleiten. Nach diesem Erfolg war die Arbeit von Lucy Mensing die zweite erfolgreiche Anwendung der

Quantenmechanik auf ein physikalisches System. Beide Arbeiten stellten damit wichtige Schritte zur Etablierung der neuen Quantenmechanik dar.

Gegenstand von Mensings Arbeit war das Bandenspektrum zweiatomiger Moleküle im Infraroten. Dieses Spektrum besteht aus einer Reihe von Spektrallinien in gleichen Abständen, wobei die zentrale Linie fehlt. Die vorhandenen Linien stammen von Übergängen, bei denen die Moleküle gleichzeitig ihren Schwingungszustand und ihren Rotationszustand ändern. Nach der alten Quantentheorie war der Drehimpuls eines zweiatomigen Moleküls als Vielfaches $L = l\hbar$ des Wirkungsquantums quantisiert und die entsprechende Rotationsenergie war proportional zu l^2 . Das resultierende Spektrum passte aber nicht zu den experimentellen Befunden. Eine bessere Passung ergab sich durch Ad-hoc-Änderungen der Formeln, bei denen halbzahlige Quantenzahlen auftraten, was jedoch akzeptierten Prinzipien widersprach. Auch für die Deutung des anomalen Zeeman-Effekts hatten Alfred Landé und Heisenberg im Rahmen der alten Quantentheorie schon halbzahlige Bahndrehimpulse in Betracht gezogen, um empirische Tatsachen durch mehr oder weniger ad hoc postulierte Formeln zu beschreiben.

Der quantenmechanische Drehimpuls war auch Thema der „Drei-Männer-Arbeit“. Aus der Algebra der Drehimpuls-Operatoren folgte, dass das Quadrat des Drehimpulses Werte der Form $\hbar^2 l(l+1)$ annehmen kann. Dabei kann die Quantenzahl l sowohl ganzzahlig als auch halbzahlig sein. War dies der Schlüssel, um die oben beschriebenen Probleme zu erklären? Lucy Mensing brachte Klarheit in diese Frage. Sie „konnte beweisen, daß für ein Elektron, welches als Massenzentrum zu bezeichnen wäre, nur die ganzzahligen Werte in Betracht kommen konnten“, erinnerte sich Jordan 1975.

Bei den Molekülen, die Lucy Mensing mit der Matrizenmechanik studierte, trat bei der Rotationsenergie nun der Ausdruck $l(l+1)$ an die Stelle von l^2 . Das resultierende Spektrum passte genau zum experimentellen Befund, und wegen $l(l+1) = (l+1/2)^2 - 1/4$ war die Erklärung für die scheinbaren halbzahligen Quantenzahlen gefunden.

Lucy Mensing war nicht die Einzige, die die neue Quantenmechanik auf Moleküle anwandte; auch Erwin Schrödinger, Erwin Fues, Robert Oppenheimer, Igor Tamm und Lew Landau taten dies. Mensings Arbeit war aber nicht nur die erste Anwendung der Matrizenmechanik auf Moleküle, sondern auch systematischer ausgearbeitet und denen ihrer Kollegen überlegen. Sie berücksichtigte als einzige mittels der quantenmechanischen Störungstheorie die Korrekturen über die niedrigste Ordnung hinaus, berechnete die



Lucy Mensing, Weihnachten 1927

Intensitäten und zeigte, dass die Linien im Bandenspektrum keinen linearen Stark-Effekt aufweisen sollten, ganz in Übereinstimmung mit dem Experiment [1].

Die klare und meisterliche Behandlung des Problems durch Mensing gefiel Pauli sehr, weswegen er sie einlud, mit ihm in Hamburg über ein anderes Thema der Molekülphysik zu arbeiten: die Berechnung der elektrischen Polarisierbarkeit von Gasen aus zweiatomigen Molekülen, die in der alten Quantentheorie nicht zutreffend gelungen war. Die sorgfältige Rechnung, die auf die Matrixelemente aufbaute, die Mensing bestimmt hatte, löste die Probleme [2]. Die gemeinsame Publikation bedeutete den nächsten Meilenstein in der Anwendung der Quantenmechanik. In einer weiteren Arbeit präsentierte Mensing 1926 die Erklärung für den partiellen Paschen-Back-Effekt.

Abkehr von der wissenschaftlichen Karriere

Lucy Mensing hatte zunächst beabsichtigt, in Hamburg das Staatsexamen für das Lehramt abzulegen, doch sie ergriff die Gelegenheit, weiter an der Front der Forschung zu arbeiten, als Alfred Landé ihr eine Stelle in Tübingen anbot, die sie im August 1926 antrat. Ihr anfänglicher Elan für die Physik schwand jedoch im Laufe des ersten Jahres. „Dort habe ich 1 1/2 Jahr ziemlich kläglich allein gewurstelt. Ich hatte die Arbeit noch von Pauli, und sie lief nicht, wie erwartet“, schrieb sie rückblickend im Jahr 1977.

In Tübingen lernte sie Wilhelm Schütz kennen, einen Assistenten von Walther Gerlach, der mit ihr physikalische Fragen diskutierte. Aus dem fachlichen Kontakt wurde mehr, und im September 1928 heirateten sie. Ein Jahr später, als Gerlach eine Professur in München antrat, folgte Schütz ihm, begleitet von seiner Frau, die dort Vorlesungen von Sommerfeld und Gerlach hörte. Im Februar 1930 entstand der letzte Zeitschriftenaufsatz von Lucy Schütz-Mensing, denn nach der Geburt des ersten Sohnes im November 1930 fiel ihr die Aufgabe zu, sich um die Familie zu kümmern.

Was hatte zum Ende ihrer wissenschaftlichen Karriere geführt? Naheliegender ist, den Grund in der damaligen gesellschaftlichen Situation zu sehen, in der die Vereinbarkeit von wissenschaftlicher Karriere und Familie mit Kindern fast nicht gegeben war. Aufzeichnungen und Briefe von Lucy Mensing zeigen jedoch, dass andere Faktoren in ihrer Tübinger Zeit eine entscheidende Rolle gespielt haben. Pauli hatte ihr vorgeschlagen, den Ramsauer-Effekt quantenmechanisch aufzuklären. Dieses Vorhaben erwies sich jedoch als erheblich schwieriger als erwartet. Zwar erarbeitete sie vollständig die erforderlichen Methoden, aber die numerische Auswertung gelang nur rudimentär und führte zu keinen nützlichen Ergebnissen. Zudem erschien in der gleichen Ausgabe der Zeitschrift für Physik, in der ihre Teilergebnisse publiziert wurden, die Arbeit einer schwedischen Gruppe, die zwar auch nicht zum Ziel gelangt, aber numerisch weiter gekommen war. Mensing frustrierte das sehr.

Ein anderer Faktor betraf ein Ansinnen von Landé an sie. Samuel Goudsmit hatte 1926/27 einen halbjährigen Forschungsaufenthalt in Tübingen verbracht und arbeitete mit Ernst Back über die Hyperfeinstruktur im Spektrum von Wismut. Landé war sehr daran interessiert und woll-

te Mensing dazu bewegen, ihnen mit eigenen Rechnungen zuvorzukommen. An Goudsmit, den sie in Tübingen kennengelernt hatte, schrieb sie: „Ich finde es empörend von L., dass er von mir verlangt Dir, Sam, bei dem Wism. ins Handwerk zu pfuschen. Ich hätte das aus freien Stücken nie getan. Ich hab schon fast Krach mit L. gehabt, weil ich es nicht wollte ...“. Zu ihrem Unbehagen über das kompetitive Wesen in der Forschung kam hinzu, dass sie einen Eindruck von der männerdominierten und hierarchischen Struktur bekam, die sich auch in persönlichen Auseinandersetzungen zwischen Gerlach und Landé zeigte, deren Zeuge sie wurde. Dadurch verlor sie Zuversicht und Freude an der Physik. Die Aussicht, zu heiraten und eine Familie zu gründen, erschien ihr zu diesem Zeitpunkt möglicherweise als attraktive Alternative zu einer Karriere in der Physik. Ihre Tochter Dorothea Roloff schrieb mir während der Durchsicht der Hinterlassenschaften: „Mir wird immer deutlicher, dass sie die Wissenschaft nicht primär wegen des Wunsches nach einer Familie verlassen hat, sondern umgekehrt die Familie gegründet hat, weil sie den wie auch immer gearteten Kämpfen im Wissenschaftsbetrieb nicht gewachsen war“.

1936 erhielt Schütz einen Ruf nach Königsberg und zog mit Frau und zwei Söhnen dorthin, wo noch zwei Töchter geboren wurden. Kurz vor Ende des Krieges siedelte die Familie nach Jena. Im Oktober 1946 wurde sie im Rahmen der Aktion Ossawakim in die Sowjetunion auf die Insel Gorodomlya deportiert, von wo sie erst 1952 wieder nach Jena zurückkehrte. Dort hatte Wilhelm Schütz bis zu seiner Emeritierung 1965 einen Lehrstuhl für Experimentalphysik inne. Lucy Schütz starb am 28. April 1995 in Meiningen.

Dieser Artikel basiert auf den Aufsätzen [3] und [4]. Ich danke Dorothea Roloff für die Überlassung vieler Aufzeichnungen, Briefe und Photographien zu ihrer Mutter Lucy Schütz, und Michel Janssen für die vorzügliche Zusammenarbeit an der ausführlichen Darstellung [4].

Literatur

- [1] *L. Mensing*, *Z. Phys.* **36**, 814 (1926)
- [2] *L. Mensing und W. Pauli*, *Physik. Z.* **27**, 509 (1926)
- [3] *G. Münster*, *Physik Journal*, Juni 2020, S. 30
- [4] *G. Münster und M. Janssen*, in: *P. Charbonneau et al.* (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics.*, Cambridge University Press, Cambridge 2025

Der Autor



Gernot Münster (FV Teilchenphysik/Theoretische und Mathematische Grundl. der Physik) war von 1990 bis 2019 Professor für theoretische Physik an der Universität Münster. Seine Arbeitsgebiete sind Quantenfeldtheorie und Statistische Feldtheorie. Darüber hinaus interessiert er sich für

Physikgeschichte und ist Mitglied des wissenschaftlichen Beirates des Zentrums für Wissenschaftstheorie an der Universität Münster.

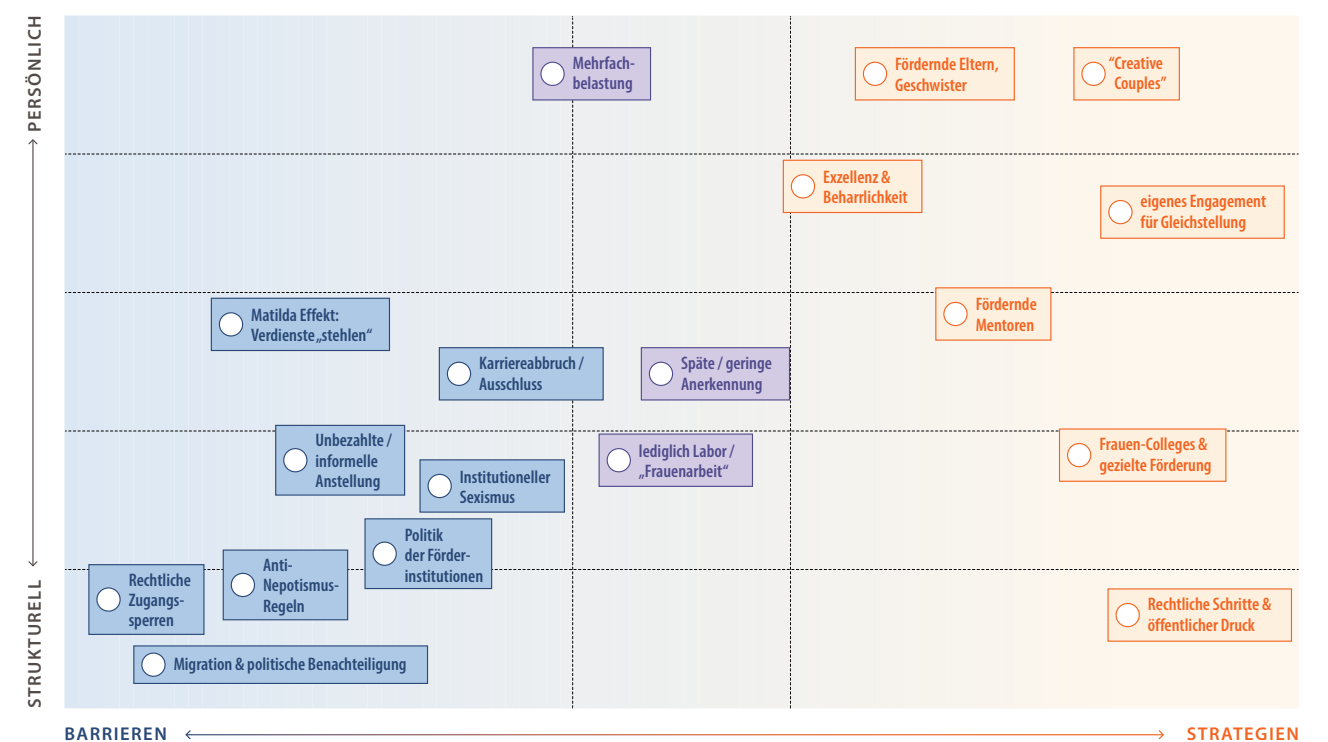
Prof. Dr. Gernot Münster, Westfälische Wilhelms-Universität Münster,
Wilhelm-Klemm-Straße 9, 48149 Münster

Anregungen zur Diskussion

Jeder Lebensweg einer Quantenphysikerin war individuell – aber jeder ist es wert, genauer betrachtet zu werden. Zu verschiedenen Zeiten und an unterschiedlichen Orten waren die Barrieren und die Chancen für eine Karriere in der Quantenphysik andere. Auch spielten private und individuelle Vorbehalte und Ermutigungen eine Rolle. Frauen fanden schließlich unterschiedliche Strategien, zur Quantenphysik beizutragen. Vielfach stießen sie an Grenzen, manchmal konnten sie diese überwinden, häufig gelang dies erst mit Verzögerung.

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.

1 Chalk	6 Monroe
2 Göppert	7 Wu
3 Hermann	8 Mensing
4 van Leeuwen	9 Sponer
5 Friedman	10 Dewey



Notizen

Hertha Sponer

Eine Pionierin der Quantenphysik, die auf dem Boden der experimentellen Tatsachen blieb.

Elise M. Crull



Hertha Sponer (links) beim Abschied von James Franck (Mitte) vom Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin, heute Fritz-Haber-Institut, vor seiner Abreise an die Universität Göttingen. Von links nach rechts: Sponer, Albert Einstein, Hugo Grotrian, Ingrid Franck (die Ehefrau von James Franck), Wilhelm Westphal, James Franck, Otto von Bayer, Lise Meitner, Peter Pringsheim, Fritz Haber, Gustav Hertz und Otto Hahn.

Experimentelle Fortschritte waren für die Entwicklung der frühen Quantenphysik von entscheidender Bedeutung, insbesondere in der Spektroskopie und Elektronenbeugung. Hier gehörte Hertha Sponer zu den Ersten, die die Quantentheorie aufgriffen und eine wesentliche Rolle bei der Entdeckung spielte, dass Materie wie Licht eine Welle-Teilchen-Dualität zeigt.

James Franck berichtete Niels Bohr häufig von seinen neuen experimentellen Ergebnissen, die zu theoretischen Fortschritten in der Quantenphysik führten. Die Messdaten – aber auch die Planung und die genaue Durchführung der bahnbrechenden Experimente, aus denen sie stammten – waren indes nicht Franck selbst zu verdanken, sondern Hertha Sponer. Sie kümmerte sich damals auch sowohl um die universitäre Lehre wie den täglichen Betrieb in den Göttinger Spektroskopielabors [1, 2].

Sponer gelang es als Pionierin, gleich mehrere rätselhafte atomare Phänomene mithilfe der Quantenmechanik zu erklären, wie die Dualität der Materie und den Tunneleffekt. Sie war eine der Ersten, die die Quantentheorie nutzten, um neue Experimentiertechniken zu entwickeln. In einer bekannten Arbeit stellte sie eine neue Methode vor, um diatomische Dissoziationsenergien zu messen, und gab neben den Messdaten dafür eine explizit quantentheoretische Erklärung [3]. Für diese zusammen mit Raymond Birge aus Berkeley verfasste Arbeit, hatte dieser jedoch weder selbst Messdaten erhoben noch Sponers theoretische Erklärung gebilligt. Er stand der seltsamen neuen Physik aus Göttingen skeptisch gegenüber, die Sponer hingegen enthusias-

gen skeptisch gegenüber, die Sponer hingegen enthusiastisch vertrat und welche die Arbeit erst zu einem Meilenstein der Molekülspektroskopie machten [2-4]. Dies ist ein typischer Fall in dem Sponers Beiträge zur Quantentheorie übersehen, heruntergespielt oder unterschlagen wurden – sogar von den Männern, welche die Quantentheorie von ihr gelernt hatten und sie als Gesprächspartnerin schätzten. Sponer gelang es als Pionierin, gleich mehrere rätselhafte atomare Phänomene mithilfe der Quantenmechanik zu erklären, wie die Dualität der Materie und den Tunneleffekt. Sie war eine der Ersten, die die Quantentheorie nutzten, um neue Experimentiertechniken zu entwickeln. In einer bekannten Arbeit stellte sie eine neue Methode vor, um diatomische Dissoziationsenergien zu messen, und gab neben den Messdaten dafür eine explizit quantentheoretische Erklärung [3]. Für diese zusammen mit Raymond Birge aus Berkeley verfasste Arbeit, hatte dieser jedoch weder selbst Messdaten erhoben noch Sponers theoretische Erklärung gebilligt. Er stand der seltsamen neuen Physik aus Göttingen skeptisch gegenüber, die Sponer hingegen enthusias-

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, März 2026, S. 40, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/23133>



tisch vertrat und welche die Arbeit erst zu einem Meilenstein der Molekülspektroskopie machten [2-4]. Dies ist ein typischer Fall in dem Sponers Beiträge zur Quantentheorie übersehen, heruntergespielt oder unterschlagen wurden – sogar von den Männern, welche die Quantentheorie von ihr gelernt hatten und sie als Gesprächspartnerin schätzten.

Tübingen, Göttingen, Berkeley...

Hertha Sponer, 1895 im schlesischen Neisse (heute Nysa) geboren, immatrikulierte sich 1917 in Tübingen, einer der wenigen deutschen Universitäten, die damals Frauen zuließen. Sie studierte Experimentalphysik bei Friedrich Paschen, dem führenden Spektroskopiker und frühen Anhänger von Bohrs Quantentheorie, wechselte 1918 nach Göttingen zu Peter Debye und promovierte dort 1920. Im selben Jahr durften Frauen in Deutschland erstmals habilitieren – eine Qualifikation, die Sponer als eine der Ersten gegen große Widerstände erlangte. Belegt ist, dass Planck, Millikan und Pohl ihr Positionen und Beförderungen verwehrten. Selbst die weltbekannte Experimentalphysikerin stieß an der Duke University auf aktiven Widerstand männlicher Kollegen – was die Universität nicht hinderte, sie 1936 zu ihrer ersten Physikprofessorin zu ernennen [1].

Als James Franck, Sponers Kollege, enger Freund und späterer Ehemann, 1921 als Leiter des Zweiten Physikalischen Instituts an die Universität Göttingen kam, wurde Sponer seine „Assistentin“, allerdings nur dem Namen nach. Obwohl Franck der offizielle Leiter war, oblagen die Laboraufsicht, die Laborantenausbildung und nicht zuletzt die Durchführung von Experimenten meist Sponer. Tatsächlich überließ Franck das Experimentieren meist Hertha Sponers äußerst kompetenten Händen [1, 2]. Daneben vermittelte sie in Seminaren physikalische Grundlagen und führte so eine ganze Generation von Wissenschaftlern in die Quantenphysik ein – zu einer Zeit, als diese Theorie noch keineswegs anerkannt war.

Sponer veröffentlichte insgesamt über 80 Fachartikel und arbeitete häufig mit prominenten Wissenschaftlern aus aller Welt zusammen. Dennoch taucht ihr Name in der Geschichte selten auf und häufig falsch oder irreführend. Sie war weder „Francks Studentin“ (sie studierte nie bei ihm) oder „Francks Assistentin“ (was allenfalls kurzzeitig stimmte) oder einfach nur „Francks zweite Frau“. Zwar heirateten beide 1946, nachdem Franck Witwer geworden und in die USA ausgewandert war, doch blieb sie geschätzte Kollegin und Wissenschaftlerin von vergleichbarem internationalen Ruf.

Frauen wurden regelrecht davon abgehalten, sich der Quantentheorie zu widmen, aus vielfältigen Gründen, meist aber aus Sexismus. Sie wurden in Labore oder Klassenzimmer verbannt. Daher liegt die Erzählung von einer

„Knabenphysik“ doppelt falsch: Sie trivialisiert die Beiträge von Experimentalphysikerinnen und ignoriert Frauen wie Hertha Sponer. Und die eher technisch und pädagogisch orientierten Rollen in der Wissenschaft galten tendenziell als weniger relevant, eben weil hier Frauen Wissenschaft betreiben durften [5].

Entdeckung der Materiewellen

Ein entscheidender aber nicht gebührend erforschter Moment in der Entwicklung der Quantentheorie ist die Entdeckung der Wellennatur der Materie. In mehreren Artikeln hatte Carl Ramsauer 1920/21 über seltsame Ergebnisse berichtet: Einfallende langsame Elektronen schienen nicht mit bestimmten Edelgasen zu interagieren, sondern wiesen stattdessen auf verschwindend kleine atomare Querschnitte hin [6].

Bald konnten andere Physiker ähnliche Phänomene nachweisen: Hans Ferdinand Mayer (1921), die Briten John Townsend und Victor Bailey (1921–23), Gustav Hertz (1922) sowie Clinton Davisson und Charles Kunsman (1922/23) [7–10]. Aber die Arbeiten von Rudolf Minkowski und Hertha Sponer [11–13] von 1923/24 wurden häufig übersehen – wohl auch, weil viele Physiker der Zeit diese experimentellen Ergebnisse als nicht überzeugend abtaten. In Göttingen aber wurde das Thema ernst genommen. Sponer schilderte, dass Minkowski und sie nicht sofort verstanden, was sie von Ramsauers Arbeit zu halten war, aber sie dennoch sofort die große Bedeutung erkannten [2].

Während man auf mehr und bessere Daten für die Streuung von Elektronen mit niedriger Energie in Edelgasen wartete, waren James Franck und Friedrich Hund damit beschäftigt, eine Theorie zu entwickeln, um diese Daten aus der klassischen Elektronentheorie zu erklären. Sie erkannten bald, dass eine rein klassische Erklärung nicht ausreichen würde und versuchten, Bohrs Korrespondenzprinzip zu verwenden. Dieser Ansatz, in den bereits die Quantentheorie hineinspielte, warf jedoch so große Probleme auf, dass Franck und Hund Ende 1922 kapitulieren mussten [14].

Gemäß der gängigen Geschichte geht die Hypothese, dass Materie wie Licht sowohl Wellen- als auch Teilchenverhalten zeigt, auf de Broglies studentische Arbeiten von 1922 bis 1924 zurück. Öffentlich präsentiert wurde seine Wellentheorie zwar erst 1927 auf der Solvay-Konferenz, doch Einstein hatte sich in den Jahren zuvor begeistert damit befasst und machte sowohl Schrödinger – der daraufhin seine Wellenmechanik entwickelte – als auch Francks Studenten Walter Elsasser darauf aufmerksam [15]. Als der junge Elsasser 1925 in der Göttinger Bibliothek de Broglies Doktorarbeit las, erkannte er, dass Ramsauers Beobach-

Bohrs Korrespondenzprinzip zu verwenden. Dieser Ansatz, in den bereits die Quantentheorie hineinspielte, warf jedoch so große Probleme auf, dass Franck und Hund Ende 1922 kapitulieren mussten [14].

Gemäß der gängigen Geschichte geht die Hypothese, dass Materie wie Licht sowohl Wellen- als auch Teilchenverhalten zeigt, auf de Broglies studentische Arbeiten von 1922 bis 1924 zurück. Öffentlich präsentiert wurde seine Wellentheorie zwar erst 1927 auf der Solvay-Konferenz, doch Einstein hatte sich in den Jahren zuvor begeistert damit befasst und machte sowohl Schrödinger – der daraufhin seine Wellenmechanik entwickelte – als auch Francks Studenten Walter Elsasser darauf aufmerksam [15]. Als der junge Elsasser 1925 in der Göttinger Bibliothek de Broglies Doktorarbeit las, erkannte er, dass Ramsauers Beobach-



Hertha Sponer

AIP Emilio Segre Visual Archives, Lisa Lisco, Gift of Jost Lemmerich

Spöner und Minkowski erkannten als Erste den Zusammenhang zwischen den Ergebnissen von Ramsauer und Davisson und Kunsman und deuteten ihn zugleich richtig als echt quantenmechanisch. Diese Erörterung brachte Elsasser darauf, die Erklärung nicht in den Atomen, sondern in den einfallenden Elektronen zu suchen [19], und so vollendete er die Geschichte dort, wo die beiden aufgehört hatten: Da eine klassische Teilchentheorie der Elektronen im Niedrigenergiebereich völlig versagt, braucht es eine quantentheoretische Beschreibung à la Bohr, in der auch wellenartige Eigenschaften zählen. Eine wellenartige Erklärung muss dort gelingen, wo die teilchenartige scheitert. Die Ergebnisse von Ramsauer und anderen lassen sich somit am besten als Beugungsphänomene deuten, ergo Materie wird als dual interpretiert.

- [1] M.-A. Maushart, „Um mich nicht zu vergessen“. Hertha Spöner – Ein Frauenleben für die Physik im 20. Jahrhundert, GNT-Verlag, Berlin 1997
- [2] H. Spöner und J. Franck, Interview mit Thomas S. Kuhn und Maria Goeppert Mayer, Niels Bohr Library & Archives, 1962, www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4609
- [3] R. T. Birge und H. Spöner, Phys. Rev. **28**, 259 (1926)
- [4] E. C. Kemble und R. T. Birge, Correspondence 1925 – 1927, Archive for the History of Quantum Physics, Mikrofilm 50/5-7
- [5] M. Rossiter, Women Scientists in America, Johns Hopkins University Press, Baltimore 1982
- [6] C. Ramsauer, Phys. Z. **22**, 613 (1921) und weitere
- [7] H. F. Mayer, Ann. Phys. **64**, 451 (1921)
- [8] M. Townsend und V. Bailey, Phil. Mag. **42**, 873 (1921), und weitere Veröffentlichungen in Phil. Mag. 1921 – 1923.
- [9] G. Hertz, Proc. Sect. Sci. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam **25**, 90 (1922)
- [10] C. J. Davisson und C. H. Kunsman, Phys. Rev. **19**, 253 (1921)
- [11] R. Minkowski und H. Spöner, Z. Phys. **15**, 399 (1923)
- [12] H. Spöner, Z. Phys. **18**, 249 (1923)
- [13] R. Minkowski und H. Spöner, in: Ergebnisse der Exakten Naturwissenschaften, Dritter Band, Springer, Berlin 1924, S. 67
- [14] M. Jähnert, Practicing the Correspondence Principle in the Old Quantum Theory, Springer, Cham 2019, Kap. 5
- [15] H. A. Medicus, Fifty Years of Matter Waves, Physics Today, Februar 1974, S. 38
- [16] W. M. Elsasser, Naturwissenschaften **13**, 711 (1925)
- [17] A. Hermann, K. Meyenn und V. F. Weisskopf (Hrsg.), Wolfgang Pauli, Wissenschaftlicher Briefwechsel, Bd. 1: 1919 – 1929, Springer, Berlin 1979, S. 226 – 229
- [18] A. Einstein, Sb. Preuß. Akad. Wiss., Phys.-math. Kl., 1925, S. 18
- [19] A. Russo, Hist. Stud. Phys. Sci. **12**, 117 (1981), S. 143
- [20] Ausführlicher dazu: E. Crull, Hertha Spöner, Maven of Quantum Spectroscopy, in: P. Charbonneau et al. (Hrsg.), Women in the History of Quantum Physics, Cambridge University Press, Cambridge 2025

Prof. Dr. Elise M. Crull, ecrull@ccny.cuny.edu

Notizen



Jane Dewey

Die amerikanische Physikerin erhielt ihre Ausbildung in der entscheidenden Phase der Quantenmechanik.

Adriana Minor

Jane Dewey gilt in den USA als eine wichtige Person in der frühen Quantenphysik, war sie doch in der dortigen Physik-Community die einzige Frau, die in den 1920er-Jahren in Europa Quantenmechanik studierte. 1925 und 1926 forschte sie am Niels-Bohr-Institut zum Stark-Effekt und obwohl sie von ihren Kollegen als vielversprechendste und bestens ausgebildete amerikanische Physikerin angesehen wurde, blieb ihr der Zugang zur Forschung und zum akademischen Leben verwehrt [1].

Jane Mary Dewey wurde am 11. Juli 1900 in Chicago geboren. Sie war die jüngste Tochter von John Dewey und Alice Chipman, die sich intensiv für die Umgestaltung von Bildungskonzepten engagierten. Ihre Vornamen waren eine Hommage an Jane Addams und Mary Rozet Smith, beide eng mit ihren Eltern befreundet, die sich für Bildungsmöglichkeiten für Frauen der Arbeiterklasse in Chicago einsetzten. Jane wuchs in einem Umfeld auf, das von fortschrittlichen Ideen über Bildung, soziale Inklusion und die Rolle der Frau in der Gesellschaft geprägt war.

Unter ihren Geschwistern stach sie aufgrund ihres Talents für Mathematik hervor, das sie dank der Freiheiten und der Möglichkeiten, die ihr von klein auf geboten wurden, entwickeln konnte. 1919 schrieb sie sich wie ihre Schwestern als Studentin am Barnard College für Frauen ein, das der Columbia University angegliedert war, wo ihr Vater seit 1904 arbeitete. Während ihrer Studienzeit war Margaret Eliza Maltby Vorsitzende des Fachbereichs Physik – die erste

Frau, die einen Bachelorabschluss in Naturwissenschaften am Massachusetts Institute of Technology (MIT) machte und in Physik an der Universität Göttingen in Deutschland promovierte. Dewey hat vermutlich Physikkurse bei Maltby besucht, die ihre Studentinnen ermutigte, eine Karriere in naturwissenschaftlichen Fächern anzustreben.

Nach ihrem Abschluss im Juni 1922 wechselte Dewey zur Promotion an das MIT, wo sie von Duncan MacInnes betreut wurde, einem Mitglied des MIT-Forschungslabors für physikalische Chemie [2]. Aus dem Jahr, in dem sie ihren Dokortitel erwarb, datiert auch ihre erste Veröffentlichung. Trotz Heirat entschied sie sich dafür, den Namen ihres Vaters weiter zu verwenden – in der Welt der Wissenschaft wollte sie als Jane Dewey bekannt sein.

Im Herbst 1925 ermöglichte ihr ein Stipendium des Barnard College einen Aufenthalt an Niels Bohrs Institut in Kopenhagen. Bohr schlug ihr vor, sich fortan auf Spektralanalysen zu konzentrieren, statt in der physikalischen Chemie zu bleiben, was sie begeistert annahm. Sie besuchte Kurse und Seminare von Bohr und seinem Assistenten

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Mai 2026, S. 28, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/23262>



◀ Auf dem Gruppenfoto zur Tagung der American Physical Society (APS) im Gebäude der National Academy of Sciences (NAS) und des National Research Council (NRC) im Jahr 1930 ist Jane Dewey ganz links zu finden.

Hendrik Kramers und suchte bereits nach drei Monaten nach Möglichkeiten, ihren Forschungsaufenthalt bei Bohr zu verlängern. Sie erklärte in ihrer Bewerbung, dass sie sich auf den Stark-Effekt in Helium konzentrieren wollte, also die Aufspaltung der Spektrallinien durch ein externes elektrisches Feld.

(Un)gleiche Bedingungen?

Dewey reichte im April 1926 einen Antrag beim International Education Board (IEB) ein, einem von der Rockefeller-Stiftung finanzierten Stipendienprogramm; MacInnes und Bohr unterstützten sie [3]. Beide Männer lobten ihre Fähigkeiten, doch während MacInnes ihre Intelligenz hervorhob, die sie von ihrem Vater hätte, betonte Bohr in seinem Empfehlungsschreiben ihre außergewöhnliche Begabung für die Forschung und ihre Fähigkeit, komplexe theoretische Entwicklungen zu verstehen, die an seinem Institut zu einer entscheidenden Zeit für die Quantenmechanik diskutiert wurden. In einem weiteren Brief ging Bohr auf die Herausforderungen bei der Durchführung ihrer Experimente ein, für deren Abschluss sie daher mehr Zeit brauchte. Möglicherweise wollte er so die Dringlichkeit des Antrags betonen. Die IEB-Mitglieder fanden diese Schreiben jedoch nicht überzeugend und lehnten Mitte 1926 ein Stipendium für sie ab. Trotz des Misserfolgs waren ihre vielversprechenden Forschungsergebnisse in Kopenhagen und ihr Wunsch, ihre wissenschaftliche Karriere fortzusetzen, unübersehbar.

Ein zweiter von Bohr unterstützter Antrag bei der dänischen Rask-Ørsted-Stiftung hatte Erfolg. Das Stipendium ermöglichte es ihr, insgesamt achtzehn Monate lang mit Bohr zusammenzuarbeiten. Während dieser Zeit verfasste sie zwei Artikel über ihre Forschungen zum Stark-Effekt von Helium. Die Veröffentlichung ihres zweiten Artikels wurde jedoch verzögert, um (absichtlich?) John Stuart Foster, der sich mit dem gleichen Thema befasste, Vorrang zu geben. Foster hatte sich als Doktorand in Yale mit dem Stark-Effekt beschäftigt, bevor er 1924 nach McGill in Kanada ging. In Bohrs zweitem Unterstützungsschreiben an das IEB für Dewey unterstützte er zugleich Fosters Bewerbung für eine Reise nach Kopenhagen, mit dem Resultat, dass diese, im Gegensatz zu Deweys, erfolgreich war. Foster verbrachte schließlich nur ein halbes Jahr in Kopenhagen, wo sie sich vermutlich trafen. Anfang 1927 teilte sie ihm ihre Ergebnisse mit, deren Ähnlichkeit mit seinen eigenen ihm nicht entging. Foster erwähnte im Briefwechsel mit Bohr nach seiner Rückkehr nach Kanada, dass er um die Verschiebung der Veröffentlichung von Deweys Artikel gebeten hatte, damit seine Ergebnisse zuerst veröffentlicht würden [4]. So erschien ihr Artikel im Dezember 1927 im Physical Review, während seiner in den renommierteren Proceedings der Royal Society erschien, wo Bohr ihn vor-

gelegt hatte. Ob Bohr die Einreichung von Deweys Artikel absichtlich verzögert hat, bleibt unklar, nicht aber, dass Foster darauf bedacht war, seine Ergebnisse vor denen von Dewey zu veröffentlichen. Wie Daniela Monaldi dargelegt hat, räumte Foster der Forschung zum Stark-Effekt in Helium Vorrang ein, die er gemeinsam mit seiner Doktorandin Laura Chalk durchgeführt hatte. Bohrs Rolle dabei könnte in seiner üblichen Vorgehensweise bestanden haben, alle Arbeiten seines Instituts zu prüfen, und seine Zustimmung – oder ihr Fehlen – bestimmte die Karrieren seiner Mitarbeiter.

Beide Arbeiten kamen zu ähnlichen Ergebnissen, was die Übereinstimmung zwischen den jüngsten Formulierungen der Quantentheorie und den experimentellen Ergebnissen betraf [5]. Allerdings waren Fosters Ergebnisse umfangreicher als die von Dewey, die zwar weniger Erfahrung hatte, aber ihre Forschung mit großem Geschick durchführte. Entscheidend dafür, dass Foster mehr Anerkennung als Dewey erhielt, war die Einschätzung von Werner Heisenberg, zu dieser Zeit Dozent in Bohrs Institut, dass Fosters Artikel für den Nachweis der Leistungsfähigkeit der Matrixmechanik bei der Erklärung des Stark-Effekts von Helium von entscheidender Bedeutung war.

Trotz aller Konkurrenz erhielt Dewey 1927 ein Stipendium des National Research Council (NRC), um an der Princeton University zu forschen, das 1928 um ein Jahr verlängert wurde. Sie war die erste Frau, die eine Postdoc-Stelle in Physik in Princeton antrat, wo sie von William Francis Magie, dem ersten Professor für Physik in Princeton, betreut wurde. Für Mitglieder seiner Physikabteilung war das indes „Magie's folly“. Trotz dieser abfälligen Bezeichnung setzte sie ihre Forschungen zum Stark-Effekt fort und publizierte mit Howard P. Robertson theoretische Arbeiten dazu. Der Leiter der Physikabteilung in Princeton, Karl Compton, schätzte Dewey als „die bestausgebildete und vielversprechendste junge Physikerin in Amerika“ und versuchte, ihr bei der Suche nach einer festen Stelle mit Empfehlungsschreiben in die ganzen USA zu helfen [6]. Die einzige Antwort, die Interesse an ihr bekundete, kam aus Berkeley. Darin hieß es, dass ihre Leistungen zwar beeindruckend seien, es aber wegen ihres Geschlechts unmöglich sei, sie einzustellen [7].

DECEMBER, 1926

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 28

INTENSITIES IN THE STARK EFFECT OF HELIUM

BY JANE M. DEWEY¹

ABSTRACT

Theory of the intensity of combination lines in the Stark effect.—The quantum theory of dispersion may be applied to the Stark effect in a weak field by considering the atoms exposed to external radiation of zero frequency. This makes it possible to calculate the intensity of new lines appearing in the field (combination lines) from the intensity of lines appearing in the undisturbed spectrum. The theory is applied here to the helium spectrum.

Measurements of the intensity of combination lines of He in the Stark effect.—Measurements of the intensity of the helium lines $2P-nM$, $2P-nm$, $2S-4M$, where $n=4, 5, 6, 7$; $M=P, D, F$, etc., are given. The Lo Surdo method of obtaining emission in an electric field was used, with the cathode

Jane Deweys erster Artikel über den Stark-Effekt in Helium erschien 1926.



Jane Dewey mit ihrem Kollegen Walter Michels (links) um 1932. Beide hatten zu dieser Zeit eine außerordentliche Professur am Bryn Mawr College inne.

1929 erhielt sie eine Anstellung an der Universität Rochester, wo sie am Institut für Angewandte Optik arbeitete, das von Thomas Russell Wilkins geleitet wurde [8]. Allerdings hatte sie Schwierigkeiten, einen geeigneten Raum für ihr Labor zu finden. An ihren Vater schrieb sie, dass sie für alles die Zustimmung ihres Chefs benötigte, weil das dessen Art sei, Dinge zu regeln.

Zwei Jahre später wurde sie Assistenzprofessorin für Physik am Bryn Mawr College, einem Frauen-College in Pennsylvania. Dort lehrte sie Quantenmechanik und organisierte mit ihrem Kollegen Walter Michels Seminare. Dewey stieß auf neue Probleme, als sie sich 1934 scheiden ließ und wegen psychischer Probleme um eine Beurlaubung bat. Als sie nach ihrer Genesung zurückkehrte, musste sie feststellen, dass nun Arthur Lindo Patterson ihre Stelle innehatte. Es war offensichtlich auf dem Campus von Bryn Mawr üblich, alle von Frauen vakant gelassenen Stellen mit Männern zu besetzen [9].

Am Hunter College, einer Frauenhochschule in New York City, unterrichtete sie noch einige Abendkurse, erhielt aber darüber hinaus nie wieder eine Festanstellung an einer Physikfakultät. In den folgenden Jahren war sie im Zuge der Kriegsmobilisierung in Industrielaboren beschäftigt. Das geht etwa aus Artikeln hervor, die sie Ende der 1940er-Jahre veröffentlichte. Während des Krieges wurden viele Frauen für wissenschaftliche Arbeiten eingestellt und arbeiteten beispielsweise am Projekt „Electronic Numerical Integrator and Computer“. Im und nach dem Krieg galt bei den Aberdeen Proving Grounds in Maryland die Softwareentwicklung für diesen Computer als niedere Arbeit für Frauen [10]. Hier erhielt Jane Dewey Ende der 1940er-Jahre eine Festanstellung als Chefphysikerin für Ballistik. Was sie in dieser Zeit genau tat, bleibt unklar, aber durch ihre theoretischen Analysen trug sie weiterhin zur Wissenschaft bei. In Anerkennung ihrer Arbeit werden ihr und ihren männlichen Kollegen zwei Formeln zugeschrieben.

Nach etwa zwei Jahrzehnten ballistischer Forschung ging Jane Dewey 1970 in den Ruhestand. Zu diesem Zeitpunkt äußerte sie sich auf eine Weise gegen Koedukation, die wie ein Rückblick auf ihren eigenen Werdegang als Frau in der Wissenschaft wirkt: „After nearly 50 years in graduate education and professional life ... I maintain that [the proponents of coeducation] are naive to believe that [women] can enter a men's university on an equal basis [...] But do Barnard students who complete graduate studies want to become lecturers, with the possibility of promotion to associate professor shortly before retirement? If they are active in extracurricular clubs at the university, do they want to be vice president or secretary or whatever else involves the most work and the least prestige? Girls and young women should be encouraged to think that they are important for as long as possible. The working world will teach them [otherwise] soon enough. At seventeen, one is still too impressionable to begin learning this lesson.“ [11]

Nach ihrer Pensionierung zog Jane Dewey in das Haus der Familie Dewey in Key West in Florida, wo sie 1976 starb.

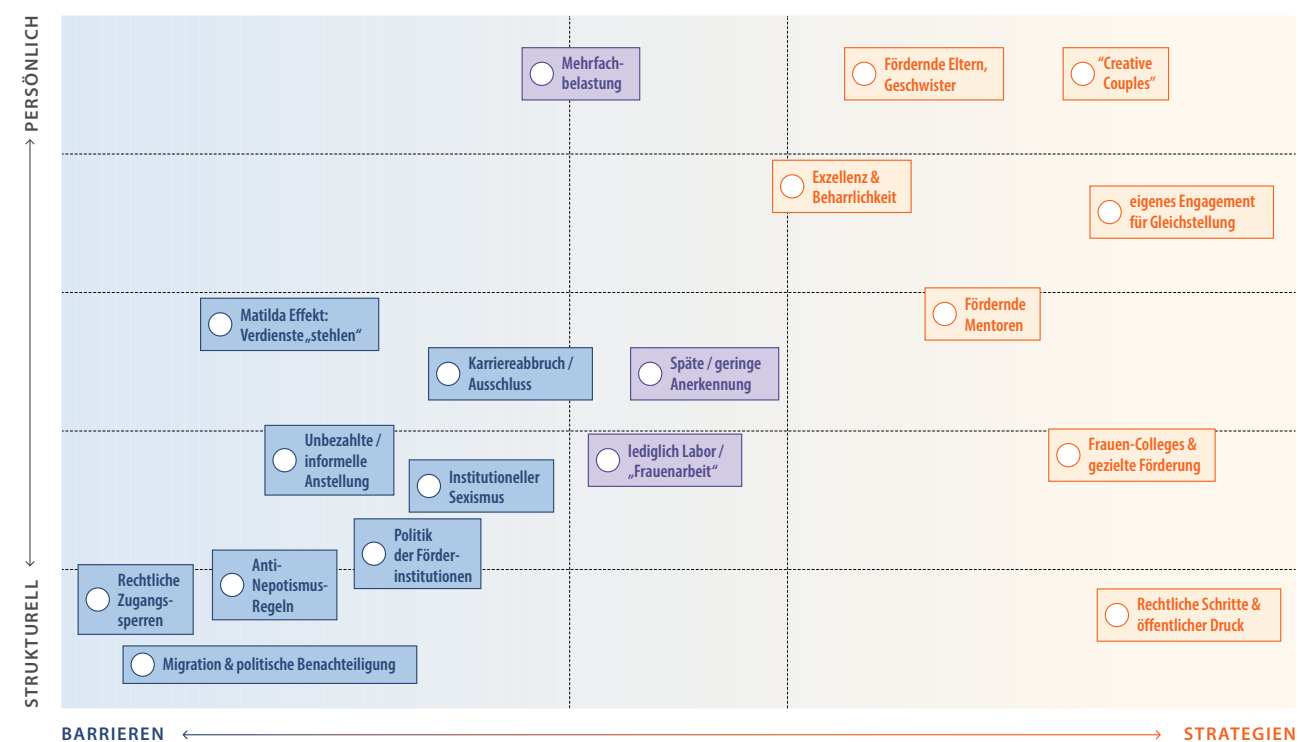
- [1] Eine ausführlichere Darstellung von Jane Dewey findet sich in: *P. Charbonneau* et al. (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 2025
- [2] *J. Behrman*, *The Personal is Professional: Margaret Maltby's Life in Physics*, in: *Biographies in the History of Physics*, hrsg. von *C. Forstner* und *M. Walker*, Springer, Cham 2020
- [3] The Rockefeller Archive Center, International Education Board, Series 1: Appropriation, Subseries 3: Fellowships in Science, Box 47, Folder 696: Jane Dewey 1925–1928, Personal History Record Submitted in Connection with Application for a Fellowship, Jane Mary Dewey (Clark), April 24, 1926
- [4] Foster to Bohr, May 31, 1926, Niels Bohr Archive, Niels Bohr Scientific Correspondence, 1903–1962, Folder 90: Foster, John Stuart
- [5] *J. Dewey*, *Phy. Rev.* **30**, 770 (1927); *J. Foster*, *Proc. A.* **117**, 137 (1927)
- [6] Zitat aus *S. Schweber*, *Hist. Stud. Phys. Biol. Sci.* **17**, 55 (1986); ich danke Patrick Charbonneau für den Hinweis.
- [7] *D. J. Kevles*, *The Physicists*, Vintage Books, New York 1979, S. 207
- [8] *C. Stroud*, *Jane Dewey: Pioneer in Quantum Optics*, in: *A Jewel in the Crown, The Institute of Optics*, University of Rochester, hrsg. von *C. R. Stroud*, University of Rochester Press, Rochester (NY) 2004
- [9] *M. Rossiter*, *Women Scientists in America*, Vol. 1, Johns Hopkins University Press, Baltimore 1984, S. 176
- [10] *J. Light*, *Technology and Culture* **40**, 455 (1999)
- [11] *J. Dewey*, *Coeudication: Con. Barnard Alumnae*, Fall 1970 (1970); <https://tinyurl.com/mrxjc8k8>

Dr. Adriana Minor, Center for Historical Studies, El Colegio de México,
Camino al Ajusco 20, CP 14110, Mexiko-Stadt, Mexiko

Jeder Lebensweg einer Quantenphysikerin war individuell – aber jeder ist es wert, genauer betrachtet zu werden. Zu verschiedenen Zeiten und an unterschiedlichen Orten waren die Barrieren und die Chancen für eine Karriere in der Quantenphysik andere. Auch spielten private und individuelle Vorbehalte und Ermutigungen eine Rolle. Frauen fanden schließlich unterschiedliche Strategien, zur Quantenphysik beizutragen. Vielfach stießen sie an Grenzen, manchmal konnten sie diese überwinden, häufig gelang dies erst mit Verzögerung.

Machen Sie sich selbst ein Bild! Lesen Sie den Text und halten Sie Ausschau nach wichtigen Gründen, welche die Karriere beeinflusst haben. Die folgende Grafik kann helfen, die Ergebnisse zu sammeln. Nicht alle Faktoren haben jeweils eine Rolle gespielt und vielleicht finden Sie auch weitere Faktoren, die noch nicht in der Grafik aufgeführt sind.

1 Chalk	6 Monroe
2 Göppert	7 Wu
3 Hermann	8 Mensing
4 van Leeuwen	9 Sponer
5 Friedman	10 Dewey



Notizen



Bildquellen: 1. AIP Emilio Segre Visual Archives, Lisa Lisio, Gift of Jost Lemmerich
2. AIP Emilio Segre Visual Archives, Lisa Lisio, Gift of Jost Lemmerich
3. © Archiv der Friedrich Ebert Stiftung Bonn/Bad Godesberg AdD, Signatur: 6/FOA/B9903
4. Smithsonian Institution Archives, Accession 90-105, Science Service Records, Bild Nr. SIA2008-1866
5. M. Gillett und A. Beer (Hrsg.), Our Own Agendas, McGill-Queen's Univ. Press, Montreal 1995, S. 42, © P. M. Murphy Personal Collection
6. Dr. D. Roloff, Dresden 8. Mit freundlicher Genehmigung der Familie van Leeuwen 9. A. G. Parker Personal Collection
10. Samuel Goudsmit, mit freundlicher Genehmigung des AIP Emilio Segre Visual Archives, Goudsmit-Sammlung

Geschichte hat viele Gesichter

Quantenphysikerinnen – historische Herausforderungen und integrative Perspektiven

Andrea Reichenberger

Physikerinnen haben die Entwicklung der Quantenphysik seit ihren Anfängen maßgeblich geprägt – theoretisch, experimentell und in ihrer philosophischen Reflexion. Dennoch blieb ihr Anteil lange wenig belichtet. Die Porträtserie von Wissenschaftlerinnen, basierend auf Beiträgen aus dem Band „Women in the History of Quantum Physics“ [1], zeigt, dass eine inklusivere Geschichtsschreibung nicht allein eine Frage der Repräsentation ist, sondern wesentlich zu einem differenzierteren Verständnis der historischen Entwicklung dieses Forschungsfeldes beiträgt.

Die Beiträge von Frauen zur Quantenphysik waren vielfältig: So erkannte Hendrika Johanna van Leeuwen 1919 unabhängig von Niels Bohr, dass Magnetismus klassisch nicht erklärbar ist, sondern ein Quantenphänomen sein muss. Lucy Mensing wandte bereits 1926 die neue Matrizenmechanik auf konkrete Probleme an. Sie berechnete Rotationsenergieniveaus zweiatomiger Moleküle und untersuchte den Quantenspin – also genau jene Fragestellungen, die für das Verständnis molekularer Strukturen zentral wurden. Laura Chalk bestätigte Ende der 1920er-Jahre erstmals experimentell

die Anwendbarkeit der Schrödinger-Wellenmechanik auf atomphysikalische Prozesse. Elizabeth Monroe Boggs baute in den 1930er-Jahren in Cambridge einen mechanischen Differentialanalysator aus Meccano-Teilen, um komplexe quantenmechanische Wellenfunktionen für zweiatomige Ionen zu berechnen. Freda Friedman Salzman entwickelte 1957 gemeinsam mit George Salzman eine numerische Methode zur Lösung der Integralgleichungen des Chew-Low-Modells – ein Beitrag zur mathematischen Fundierung der entstehenden Quantenfeldtheorie.

Mittlerweile ist gut untersucht, dass für Wissenschaftlerinnen eine akademische Karriere ungleich schwerer war als für Männer. Dabei war der Zugang für Frauen zu höheren Bildungswegen und wissenschaftlichen Positionen

Alle Porträts zum Herunterladen und Ausdrucken finden sich unter: dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsset-quantenphysikerinnen
Dieser Beitrag ist im Original erschienen im Physik Journal, Juni 2026, S. 32, <https://pro-physik.de/zeitschriften/download/23282>



nicht nur politisch und rechtlich stark eingeschränkt [2]. Sie sahen sich zudem geschlechtsspezifischen Rollenvorstellungen, Klischees und mangelnder personeller Unterstützung gegenüber. Bei Hertha Sponer zeigt sich exemplarisch, wie stark institutionelle Macht, das politische Zeitgeschehen, Geschlechterbilder und persönliche Vorurteile wissenschaftliche Karrieren beeinflussen können. Robert Wichard Pohl, ein einflussreicher Physiker an der Universität Göttingen, weigerte sich beispielsweise, Sponers Habilitation zu fördern, und stand einer weiteren Anstellung ablehnend gegenüber. So schrieb er am 29. September 1933 in einem Brief an James Franck [3]: „Frl Sponers Ausichten, von Göttingen fort auf eine andere Stelle geholt zu werden, habe ich stets gleich Null gehalten.“ (Siehe mein Habilitationsgutachten). In dieser pessimistischen Auffassung haben mich die Erfahrungen der letzten Jahre nur bestärkt. Außer Dir wüßte ich schlechterdings niemanden, der mit Frl Sponer zusammen arbeiten könnte.“ Die historische Entwicklung hat Pohls Urteil klar widerlegt: Hertha Sponer hat bedeutende Beiträge zur Quantenmechanik und Molekularphysik geleistet, insbesondere auf den Gebieten der Spektroskopie und der Anwendung der Quantentheorie auf chemische Fragestellungen.

Die Fallstudien verdeutlichen, wie bedeutend es ist, die Forschungsleistungen von Frauen evidenzbasiert und faktenorientiert sichtbar zu machen. Das macht erkennbar, welchen substanziellen Beitrag Frauen zur Entwicklung der Quantenphysik geleistet haben. Zugleich ermöglichen es die Beispiele, die historischen Gründe dafür zu analysieren, weshalb diese Leistungen über einen langen Zeitraum hinweg nicht oder nur begrenzt berücksichtigt wurden. Eine solche integrative Perspektive trägt dazu bei, etablierte Darstellungen der Geschichte zu differenzieren und gegebenenfalls zu revidieren. Darüber hinaus wird deutlich, dass wissenschaftliche Entwicklungen stets in soziale und institutionelle Kontexte eingebettet sind. Eine entsprechend differenzierte Untersuchung erweitert nicht nur das historische Verständnis, sondern fördert auch die kritische Reflexion theoretischer und methodischer Ansätze. Langfristig lässt sich so zu einer vertieften Gesamtsicht auf die Geschichte der Quantenphysik beitragen.

Von Archivlücken zu Netzwerkanalysen

Dafür spielen Archive eine Schlüsselrolle. In den letzten Jahren ist das Bewusstsein für die geringere Präsenz von Frauen in Archivbeständen deutlich gewachsen [4]. Dies führt zunehmend zu gezielten Initiativen, bislang wenig sichtbare Biografien und Beiträge zu erschließen und zugänglich zu machen. Diese Dynamik zeigte sich auch bei unseren Recherchen zu Quantenphysikerinnen. Die Auswahl der porträtierten Wissenschaftlerinnen war pragmatisch bestimmt, in Abhängigkeit der Kenntnis und des Zugangs zu Quellenbeständen. Ein hervorragendes Beispiel ist der Nachlass von Lucy Mensing: Nur der Umstand, dass Gernot Münster persönlichen Zugang zu privaten Materialien erhielt, ermöglichte es, Dokumente zu sichern und wissenschaftlich auszuwerten, die sonst unbeachtet geblieben wären.

Auch statistische Datenanalysen können aufschlussreich

sein. Ein Beispiel liefert die Auswertung von Jahrgängen der „Physikalischen Berichte“. So erschienen zwischen 1920 und 1924 mindestens 127 Artikel von Physikerinnen, darunter Lise Meitner, Hildegard Miething, Gabriele Rabel, Elisabeth Rona, Gerda Laski, Hertha Sponer, Ellen Lax, Lilli Szabó und Käthe Conrad [5].

Belastbare quantitative Daten zur Forschung von Quantenphysikerinnen zu gewinnen, ist jedoch zeitintensiv und methodisch anspruchsvoll. Einschlägige Fachzeitschriften aus der Vergangenheit enthalten meist keine Geschlechtsangaben und oft nur Initialen statt ausgeschriebener Vornamen. Viele relevante Zeitschriften sind nur teilweise digitalisiert oder schlecht erschlossen, sodass Volltext-Mining nur eingeschränkt möglich ist. Namensänderungen (etwa durch Heirat) führen zu getrennten Publikationsspuren, die algorithmisch schwer zu verbinden sind. In der Forschungspraxis wird das Problem inzwischen explizit diskutiert, besonders in der Wissenschaftsgeschichte, Bibliometrie und den Digital Humanities.

Moderne Datenbanken bauen Author-ID-Systeme auf, die Publikationen einer Person trotz Namensvarianten zusammenführen. Diese Technik funktioniert aber aufgrund fehlender Metadaten und fehlender digitalisierter Volltexte oft nur eingeschränkt. Bisherige Lösungen sind meist Hybridstrategien aus kuratierten Textsammlungen (Korpora), der Beseitigung von Uneindeutigkeiten bei Namen (Disambiguierung), algorithmischer Unterstützung und historischer Quellenarbeit. Methoden der Digi-

Physikalische Berichte

als Fortsetzung der „Fortschritte der Physik“ und des „Halbmonatlichen Literaturverzeichnisses“ sowie der „Beiblätter zu den Annalen der Physik“

gemeinsam herausgegeben von der

Deutschen Physikalischen Gesellschaft

und der

Deutschen Gesellschaft für technische Physik

unter der Redaktion von Karl Scheel

5. Jahrgang

15. Dezember 1924

Nr. 24

1. Allgemeines.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften. Herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften“. Dritter Band. Mit 100 Abbildungen. III u. 404 S. Berlin, Verlag von Julius Springer, 1924. Inhalt:

A. Brill, Die Strahlung der Sterne.

R. Hess, Die Statistik der Leuchtkräfte der Sterne.

Hans Kienle, Die astronomischen Prüfungen der allgemeinen Relativitätstheorie.

R. Minkowski und H. Sponer, Über den Durchgang von Elektronen durch Atome.

G. Laski, Ultrarotforschung.

Bernhard Gudden, Elektrizitätsleitung in kristallisierten Stoffen unter Anschluß der Metalle.

Lise Meitner, Der Zusammenhang zwischen β - und γ -Strahlen.

Walther Gerlach, Atomstrahlen.

E. Hückel, Zur Theorie der Elektrolyte.

Günther-Schulze, Elektrische Ventile und Gleichrichter.

L. R. Katz, Quellung. I. Teil.

SHEEL.

Robert Pohl, Hans Geitel, Göttinger Nachr. Gesch. Mitt. 1923/24, S. 69–74. SHEEL.

Die „Physikalischen Berichte“ fassten aktuelle physikalische Publikationen zusammen. Auf dieser Titelseite der 24. Ausgabe von 1924 finden sich gleich drei Physikerinnen, von denen nur Lise Meitner sofort zu erkennen ist. Gerda Laski und Hertha Sponer sind dagegen nur mit abgekürztem Vornamen aufgeführt.

tal Humanities wie Text-Mining, Datenvisualisierung und Netzwerkanalyse versprechen neue Erkenntnisse. So lassen sich genauere Bilder von Korrespondenz- und Forschungsnetzwerken sowie Zitationspraxen erstellen. Ein Beispiel ist eine Studie von Roberto Lalli, Riaz Howey und Dirk Wintergrün aus dem Jahr 2020, in der sie die „Renaissance“ der Allgemeinen Relativitätstheorie mit Methoden der Netzwerkanalyse empirisch untersucht haben [6]. Eine stärkere Verbindung von Geschlechtergeschichte und quantitativer Wissenschaftsforschung könnte künftig eine präzisere wie vollständigere Physikgeschichte liefern.

Theoretisch, experimentell und transnational

Besonders fruchtbar ist es, die Perspektive über die kanonische Theoriesgeschichte hinaus zu erweitern. Gerade in experimentellen Kontexten wie der Spektroskopie treten die Beiträge von Physikerinnen deutlicher hervor und zeigen, wie stark die Entwicklung der Quantenphysik von interdisziplinären Impulsen geprägt war. Arbeiten von Forscherinnen wie Maria Goeppert Mayer zur Zwei-Photonen-Absorption erweitern die Sichtweise auf die Geschichte der Quantenphysik und machen diese nicht unschärfer, sondern im Gegenteil historisch präziser.

Der Blick auf die Formierung der Quantenphysik über die Theorie hinaus ist mehr als nur ein inklusiver Perspektivwechsel, sondern eröffnet vielmehr einen substanziellen Erkenntnisgewinn, um die Disziplin selbst zu verstehen. Neben der Porträtserie im Physik Journal setzen dafür auch Sichtbarkeitsinitiativen wichtige Impulse, etwa Ausstellungen wie „Rethinking Physics“ oder Preise, die nach

Physikerinnen benannt sind. All das erinnert daran, dass historische Forschung nicht nur das Bild der Vergangenheit erweitert, sondern auch prägt, wer heute als Teil der wissenschaftlichen Gemeinschaft wahrgenommen wird.

Von Ungleichheiten zum Think Lab

An die Porträtserie lässt sich in Zukunft sicher eine Reihe von weiteren Forschungsfragen und Forschungsprojekten zur Geschichte der Quantenphysik und darüber hinaus anknüpfen. Ein Beispiel wäre die Geschichte der Quantenchemie, die gerade in der frühen Phase eng mit der Quantenspektroskopie verbunden war und sich durch transatlantische Netzwerke zwischen den 1920er- und 1940er-Jahren formierte, in denen Physikerinnen – und nicht nur Hertha Sponer – eine zentrale Vermittlungsrolle spielten.

Ein Beispiel: Hildegard Stücklen, Hedwig Kohn und Charlotte Houtermans waren deutschsprachige Physikerinnen, deren wissenschaftliche Karrieren durch politische Umstände, nicht zuletzt durch Nationalsozialismus und Antisemitismus, unterbrochen wurden. Alle drei emigrierten in die USA, wo sie an Colleges – oft Frauen- oder Liberal-Arts-Colleges – lehrten und forschten. Sie trugen alle dazu bei, die experimentelle Anwendung der Quantenphysik zu etablieren, und unterstützten durch ihre Tätigkeit transatlantische wissenschaftliche Kooperationen, die oft durch Migration, Exil und Genderdynamiken geprägt waren [7].

Ungleichheiten entstehen selten aus einem einzigen Faktor, sondern aus dem Zusammenspiel von Geschlecht, Herkunft, sozialem Status und Zugang zu Ressourcen, die



Die Wanderausstellung „Rethinking Physics“ hat sichtbar gemacht, wie Frauen die heutige Quantenphysik und -technologie prägen.

oftmals mit Stereotypen, Vorurteilen und Rollenbildern in einer Gesellschaft einhergehen, was in der Geschlechterforschung als „Intersektionalität“ bezeichnet wird. Die Geschichte der Quantenphysik wird dadurch zu einem „Think Lab“, in dem sich die Wechselwirkungen zwischen Wissensproduktion, Institutionen und Machtstrukturen besonders klar beobachten lassen.

Gerade deshalb funktioniert historische Frauen- und Genderforschung auch als gegenwartsrelevanter Kompass. Wissenschaftliche Anerkennung basiert traditionell auf individueller Autorschaft und Reputation. Doch neue Formen kollektiver Forschung – große Kollaborationen, datengetriebene Infrastrukturprojekte und die wachsende Rolle von IT-Unternehmen in Kooperation mit institutionellen Akteuren – verschieben diese Logik. Wenn künftig stärker Unternehmen und Institutionen statt Individuen als Wissensproduzenten wahrgenommen werden, stellt sich die Frage nach Verantwortung, Transparenz und Anerkennung neu.

Die kritische Rekonstruktion vergessener Beiträge von Physikerinnen zeigt, wie eng epistemische Autorität mit sozialen, politischen und ökonomischen Strukturen verflochten ist – und wie wichtig es bleibt, diese Strukturen sichtbar zu machen und kritisch zu hinterfragen [8]. Eine Physikgeschichte, die Ungleichheiten in Form vergessener Beiträge von Physikerinnen kritisch untersucht, lehrt uns in diesem Sinne sehr viel mehr als über die Rolle des Geschlechts. Sie klärt über das subtile Wechselspiel zwischen Wissenschaft und Forschungspolitik auf.

Literatur

- [1] P. Charbonneau et al. (Hrsg.), Women in the History of Quantum Physics, Cambridge University Press, Cambridge 2025; Rezension: I. Lima Silva, Nature **649**, 286 (2026)
- [2] P. Mazón, Das akademische Bürgerrecht und die Zulassung von Frauen zu den deutschen Universitäten 1865 – 1914, Zentrum für transdisziplinäre Geschlechterstudien (2001); tinyurl.com/2msk56mu

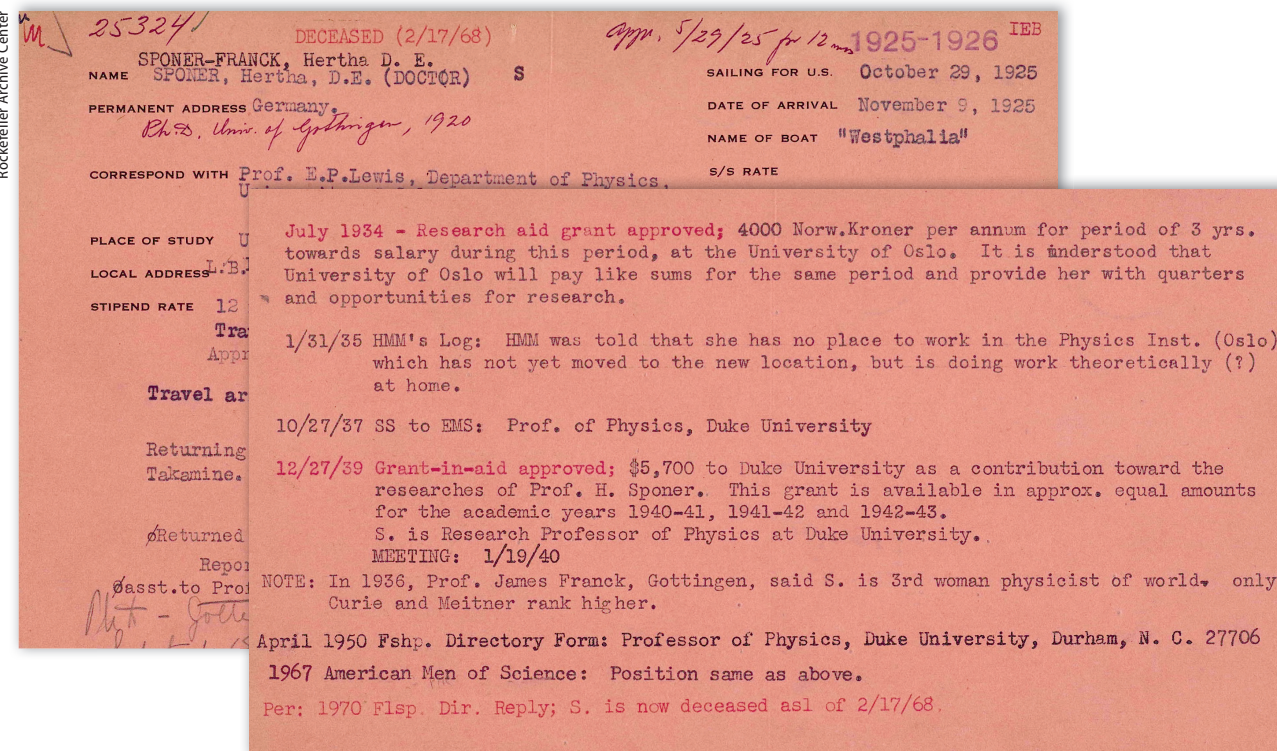
- [3] F. Ebner, James Franck – Robert Wichard Pohl. Briefwechsel 1906 – 1964, Preprint 8, Deutsches Museum München 2013, hier S. 106; tinyurl.com/55nn5k6b
- [4] K. M. Mason und T. Zanish-Belcher, Raising the Archival Consciousness, Library Trends **56/2**, 344 (2007)
- [5] A. Sandner, Eine Bilanz über die Situation der Physikerinnen im 20. Jahrhundert, 24. Kongress von Frauen in Naturwissenschaft und Technik, 21. – 24. Mai 1998 in Mainz, in: Frauen in der Technik – FIT 1998, S. 358 – 367
- [6] R. Lalli, R. Howey und D. Wintergrün, The dynamics of collaboration networks and the history of general relativity, 1925 – 1970, Scientometrics **122**, 1129 (2020); tinyurl.com/vv89c5ww
- [7] O. Campbell, Sisters in Science: How Four Women Physicists Escaped Nazi Germany and Made Scientific History, Harlequin, Toronto 2024
- [8] N. Byers und G. Williams (Hrsg.), Out of the Shadows. Contributions of Twentieth-Century Women to Physics, Cambridge University Press, Cambridge 2006

Die Autorin

Andrea Reichenberger leitet derzeit das DFG-Projekt „Grete Hermann: Von Mathematik und Quantenphysik zu Politik und Ethik“. Sie hat von 2023 bis 2025 den Lehrstuhl für Technikgeschichte an der Technischen Universität München (TUM) / c/o Deutsches Museum vertreten. Zuvor war sie Nachwuchsforschungsgruppenleiterin am Department Mathematik der Universität Siegen und u. a. Postdoktorandin am Center for the History of Women Philosophers and Scientists (HWPS) der Universität Paderborn. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen auf dem Gebiet der Wissenschafts-, Philosophie- und Technikgeschichte



Prof. Dr. Andrea Reichenberger, TUM School of Social Sciences and Technology, Department of Science, Technology and Society (STS), c/o Deutsches Museum, Museumsinsel 1, 80538 München



Archivalien zu Physikerinnen sind oft rar gesät. Umso wertvoller, wenn sie sich erhalten haben und erschlossen werden konnten, wie hier die amerikanische Personalkarte von Hertha Sponer, auf der sich viele aufschlussreiche Angaben zu ihrem Lebensweg und ihrer akademischen Karriere finden.