

Bedeutende Wissenschaftler:

Erwin SCHRÖDINGER

wurde das die Energie der Teilchen Vielfache von $h\nu$
(zum 10. Todestag)

Die Physik hat in der Entwicklung der Naturwissenschaften seit jeher eine führende Rolle eingenommen. Insbesondere hat der Fortschritt, den die Quantentheorie für das Verständnis (und die Beherrschung) der Natur gebracht hat, nicht seinesgleichen in der Geschichte. Schrödinger gehört zu den Sternen erster Größe unter den Männern, die zum Aufbau dieser Theorie beigetragen haben. Um seine Leistung würdigen zu können, wollen wir zunächst die Entwicklungsgeschichte der Quantentheorie betrachten:

Im Jahre 1900 hat Max Planck einen Weg gefunden, die spektrale Energieverteilung der Strahlung eines schwarzen Körpers theoretisch zu klären. Es handelt sich dabei um die Frage, wie die Energie des von einem heißen Körper ausgestrahlten Lichtes auf die einzelnen Frequenzen d.h. Farben des Lichtes verteilt ist.

Dieser Weg bedeutete einen radikalen Bruch mit den klassischen Vorstellungen. Planck mußte annehmen, daß die "Oszillatoren", die das Licht ausstrahlen, ihre Energie nur in gewissen endlichen Quanten abgeben bzw. aufnehmen können. Diese kleinste Energieportion, die bei einem Schwingungsvorgang der Frequenz ν auftritt, hat die Größe $h \cdot \nu$, wobei h eine neue von Planck damit entdeckte Naturkonstante, das Planck'sche Wirkungsquantum ist.

Albert Einstein hat 1905 in konsequenter Fortführung dieser Hypothese behauptet, daß Licht der Frequenz ν nicht

Der Österreichische Rundfunk überlässt Ihnen dieses Manuskript (mit Einverständnis des Verfassers) nur zum eigenen Gebrauch gemäß § 69 Abs. 3, Urhg. Jede andere Verwendung, insbesondere eine Verwertung irgendwelcher Art, ist unstatthaft und strafbar.

eine kontinuierlich veränderbare Energie enthalten könne, sondern daß die Energie ein ganzzahliges Vielfaches von $h\nu$ sein müsse, ja, daß man sich Licht einer bestimmten Frequenz als aus Teilchen zusammengesetzt denken kann; jedes dieser Lichtteilchen, der Photonen wie sie heute heißen, hat denn die Energie $h\nu$ und den Impuls $h\nu/c$, wobei ~~hν/c~~ c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Einstein hat mit dieser Lichtquantenhypothese eine Reihe von Erscheinungen erklären können, insbesondere den Photoeffekt, der darin besteht, daß Licht aus einer Metalloberfläche Elektronen herausschlägt. Dabei hatte sich gezeigt, daß die Geschwindigkeit der herausgeschlagenen Elektronen unabhängig ^{ist} ~~war~~ von der Intensität des Lichtes. Eine Intensitätsänderung bewirkt lediglich eine Änderung der Zahl der herausgeschlagenen Elektronen, während die Geschwindigkeit der Elektronen umso größer ist, je größer die Frequenz des Lichtes ist. Eine direkte Bestätigung der Photonvorstellung wurde durch den ^{Compton} ~~Raupen~~effekt geliefert. Das bedeutete eine Wiederbelebung der korpuskularen Theorie des Lichtes für einen gewissen Komplex von Erscheinungen. Für andere Vorgänge war die Wellentheorie des Lichtes zuständig, die sich ^{z.B.} in Beugungserscheinungen deutlich manifestiert. Diese Dualität des Lichtes blieb über zwanzig Jahre lang recht rätselhaft, die Physiker lernten sie einigermaßen handzuhaben und gewöhnten sich daran.

Der kühnen Phantasie eines Louis de Broglie blieb es vorbehalten, diese Idee auch auf materielle Teilchen wie z.B. Elektronen auszudehnen, diesen also neben den bekannten Teilcheneigenschaften auch Welleneigenschaften zuzuschreiben. Er

trug diese Idee der Materiewellen 1924 in seiner Doktorarbeit vor und stützte sie durch glänzende theoretische Überlegungen. De Broglie's Überlegungen bezogen sich nur auf frei durch den Raum fliegende Elektronen, sie enthielten keine Ansätze für die Beschreibung von Elektronen, die z.B. in einem Atom gebunden sind. Den Ausbau dieser Idee zu einer allgemeinen Wellenmechanik verdanken wir dem Genie Erwin Schrödingers.

Schrödinger wurde 1887 in Wien geboren; Kindheit und Jugend standen vor allem unter dem Einfluß des Vaters, der dem einzigen Kind reichste Anregung zuteil werden ließ. Ab dem 11. Lebensjahr besuchte er das Akademische Gymnasium in Wien, dessen Unterricht er als vorzüglich bezeichnete. Schrödinger war immer Klassen-Erster, ausgezeichnet in allen Fächern. Seine besondere Liebe galt der Mathematik und der Physik, aber auch der strengen Logik der alten Grammatiken.

Während der vier Universitätsjahre in Wien (1906 - 1910) hatte Fritz Hasenöhrle, der Nachfolger Ludwig Boltzmann's, den größten Einfluß auf den jungen Physiker. Von Hasenöhrle, der leider 1915 an der italienischen Front gefallen ist, sagte Schrödinger anlässlich der Nobelpreisübernahme 1933: "... wäre Hasenöhrle nicht gefallen, so stünde er wohl jetzt an meiner Stelle".

Schrödinger macht den ersten Weltkrieg als Artillerieoffizier an der Südwestfront mit. Danach führt seine Laufbahn steil nach oben: Nach je einem Semester in Jena, Stuttgart und Breslau kommt er 1921 als Nachfolger A. Einsteins und

Max von Laue's in Zürich für sechs Jahre zur Ruhe. Hier erfreut er sich besonders der Freundschaft und Hilfe des Mathematikers Hermann Weyl; hier entsteht 1926 das Werk, das seinem Namen Unsterblichkeit sichert, die Wellenmechanik.

Das Grundproblem der Atomphysik vor dem Auffinden der richtigen Theorie, der heutigen Quantentheorie, bestand darin, daß die klassische Mechanik, die man auf das Atom anwandte, keine Möglichkeit für das Verständnis der Stabilität der Atome lieferte. Faßt man das Atom als ein Planetensystem im Kleinen auf, als System von Elektronen, die den Kern umkreisen, so ist es nach klassischen Gesetzen völlig unerklärlich, wieso sich immer wieder dieselben stabilen Formen bilden. Man denke sich unser Planetensystem zerstört; unmöglich, daß es sich wieder in derselben Form bilden sollte! Genau das aber tun die Atome!

Niels Bohr hat 1913 das Rätsel der Linienspektren dadurch gelöst, daß er annahm, daß in einem Atom nicht alle nach der klassischen Mechanik möglichen Bahnen zulässig sind; es sollten nur gewisse diskrete Quantenbahnen möglich sein. Energie sollte ein Elektron nur abgeben können, wenn es von einer erlaubten Quantenbahn auf eine solche niedrigerer Energie springt, wobei die entsprechende Energiedifferenz in Form von Licht ausgestrahlt wird. Die Quantenbedingungen, die die erlaubten Bahnen bestimmten, lieferten die Existenz einer letzten Bahn zu niedrigster Energie, damit war auch das Problem der Stabilität gelöst. Bohr war sich aber völlig klar, daß die hiedurch formulierte Gesetzmäßigkeit mit der klassischen Physik in Widerspruch steht.

Schrödinger sagt zu diesem Problem in seinem Nobelvortrag:
"Die Situation war ziemlich verzweifelt. Hätte die alte

Mechanik ganz versagt, es hätte noch hingehen mögen. Dann hätte man die Bahn frei gehabt, um eine neue zu ersinnen. So aber stand man vor der schwierigen Aufgabe, ihre Seele zu retten, deren Hauch fühlbar in diesem Mikrokosmos waltete, und doch ihr sozusagen abzuschmeicheln, daß sie die Quantenbedingungen nicht mehr als grobe Eingriffe, sondern als aus ihrem eigenen inneren Wesen fließend anerkennen möge."

Diese Lösung des Problems wurde auf 2 völlig unabhängigen Wegen gefunden. Durch Werner Heisenberg, der 1925 mit seiner bahnbrechenden Arbeit die Matrizenmechanik begründete, und durch die fast gleichzeitig von Schrödinger geschaffene Wellenmechanik. Beide Formulierungen haben sich trotz der zunächst völlig verschieden anmutenden Form als äquivalent erwiesen; es sind verschiedene Darstellungsweisen der einen Quantenmechanik.

In Anknüpfung an de Broglie's Ideen suchte Schrödinger eine Wellengleichung für Materie aufzustellen. Seinen Ausgangspunkt bildete dabei die schon im vorigen Jahrhundert von dem großen irischen Physiker William Hamilton herausgearbeitete Analogie zwischen der Mechanik und der geometrischen Optik. In der geometrischen Optik arbeitet man bekanntlich mit Lichtstrahlen, die man sozusagen als Bahnen von Lichtteilchen auffassen kann, von der Wellennatur des Lichtes braucht man dabei nichts zu wissen; diese feineren Eigenschaften des Lichtes zeigen sich erst bei Problemen, bei denen die Ausdehnung der ins Spiel kommenden Körper so klein wird, daß sie mit der Wellenlänge des Lichtes vergleichbar wird, also etwa $1/2000$ mm. Analog sollte für Materie, also z.B. Elektronen, die Wellennatur erst bei entsprechend kleinen Ausdehnungen z.B. im Atom hervortreten.

Dieses Programm führte Schrödinger in geradezu atemberaubender Virtuosität durch. In dem kurzen Zeitraum von nur einem halben Jahr, nämlich vom Januar bis zum Juni 1926, veröffentlichte er seine 4 berühmten Mitteilungen, die alle den Titel "Quantisierung als Eigenwertproblem" tragen. Darüber hinaus, gewissermaßen als Zugabe, zeigt er zwischendurch, daß die Heisenberg-Born-Jordan'sche Quantenmechanik, trotz der außerordentlichen Verschiedenheit der Ausgangspunkte, der seinen mathematisch äquivalent ist.

Der Titel "Quantisierung als Eigenwertproblem" sagt völlig klar aus, in welcher Form die Wellenmechanik das Stabilitätsproblem der Atome löst. Schrödingers Wellengleichung führt auf ein der klassischen Physik wohlbekanntes Problem, nämlich die Bestimmung der Eigenfrequenzen eines schwingungsfähigen Systems. Jedermann wohlbekannte Beispiele sind die Töne, die eine Glocke erzeugt, oder etwa eine bestimmte Saite einer Geige.

In der ersten Mitteilung berechnet Schrödinger auf diese Weise das Wasserstoffatom. In der zweiten unternimmt er dann eine ausführliche Begründung seiner "Wellengleichung", die man besser Amplitudengleichung nennen sollte. Die Aufstellung der eigentlichen Wellengleichung, die im allgemeinen Fall zuständig ist, und die als Schrödingergleichung in die Geschichte eingegangen ist, wird erst in der vierten Mitteilung durchgeführt.

Das Problem der Auffindung der zuständigen Wellengleichung für ein beliebiges mechanisches System war damit gelöst; es blieb die Frage, wie die Theorie oder speziell die Wellen-

funktion physikalisch zu interpretieren sei. Daß dieses Problem durch die Aufstellung einer Wellengleichung noch gänzlich ungeklärt geblieben war, erhellt aus der Tatsache, daß ja die Dualität von Teilchen und Welle auch beim Licht noch der Klärung harrete, von dem die Wellengleichung auch längst bekannt war.

Die Lösung dieses eigentlichen Problems der Quantenmechanik verdanken wir Max Born, der noch im Jahre 1926 mit Hilfe der Schrödinger'schen Wellenmechanik eine allgemeine Theorie zur Behandlung quantentheoretischer Stoßprozesse gegeben hat, und bei dieser Gelegenheit die Interpretationsfrage klärte. Diese Lösung bedeutete einen drastischen Bruch mit den Vorstellungen der klassischen Physik. Danach soll die Theorie grundsätzlich nicht in der Lage sein, über ein bestimmtes Objekt z.B. ein Atom etwas auszusagen, es ist lediglich möglich, Wahrscheinlichkeitsaussagen über eine Gesamtheit von sehr vielen gleichen Atomen zu machen.

Wir treten damit in die bis heute noch nicht abgeschlossene Problematik der Interpretation der Quantenmechanik ein, die in das Grenzgebiet zwischen Physik und Philosophie gehört. Die Mehrzahl der Physiker hat die von Born gegebene sogenannte Kopenhagener Interpretation akzeptiert, Schrödinger gehört aber mit Einstein und de Broglie zu den bemerkenswerten Ausnahmen, die Zeit ihres Lebens nicht aufgehört haben, das Unbefriedigende der statistischen Interpretation der Quantenmechanik zu betonen.

1927 wurde Schrödinger als Nachfolger von Max Planck nach Berlin berufen, wo damals eine beispiellose Ansammlung von



Physikern allerersten Ranges bestand. In diesem Kreis erlebte er die goldenen Jahre der neuen Quantentheorie, die alle die drängenden Probleme in hervorragender Weise löste. Nicht nur die Atomphysik, auch die der Moleküle, d.h. die gesamte Chemie, konnte in ihren Grundlagen mit der neuen Theorie verstanden werden.

Auf der politischen Seite wurden die Verhältnisse in Deutschland immer unerträglicher. Das Jahr 1933 brachte einen traurigen Höhepunkt in der Verfolgung nichtarischer Physiker. Von Abscheu erfüllt, verläßt Schrödinger im Herbst Berlin, um nach England zu gehen. 1936 folgte er einem Ruf nach Graz, doch schon 1938 hielt er es für ratsam, die Heimat wieder zu verlassen. Der großzügigen Gründung eines Forschungsinstituts in Dublin ist es zu verdanken, daß Schrödinger dort am Institute for Advanced Studies siebzehn wunderbare Jahre verbringen konnte.

Für den Fachwissenschaftler bildet die Wellenmechanik das alles überstrahlende Werk Schrödingers. Um die wahre Größe dieses Geistes anzudeuten, muß aber unbedingt auf die philosophisch-erkenntniskritischen Arbeiten Schrödingers hingewiesen werden. Er unternimmt es, bis zu den Griechen hinabzusteigen, um die Wurzeln unserer naturwissenschaftlichen Denkweise aufzuhellen; er vergleicht sie mit den Denkformen der indischen Philosophie. Daheben verfolgt er die Wissenschaft außerhalb seines engen Fachgebietes. In seinem Buch "Was ist Leben?" unternimmt er eine allgemein verständliche Darstellung der Grundlagen der Lebensvorgänge. Er macht darin deutlich, wie weitgehend die Quantentheorie auch diese Vorgänge richtig zu beschreiben vermag. Die vor einem Jahr erfolgte Verleihung

des Nobelpreises für Biologie an den ehemaligen Physiker Max Delbrück zeigt uns klar, wie weit die von Schrödinger mitbegründeten Methoden tragen. Vom Atom ausgehend über die Moleküle, bis hinauf zur lebenden Zelle reicht dieses mächtige Werkzeug.

Doch damit nicht genug! Auch hinunter in subatomare Bereiche erstreckt sich der Anwendungsbereich. Viele Eigenschaften der Atomkerne werden richtig erfaßt. Erst im Bereiche der Elementarteilchenphysik, in dem die Umwandlung von Energie in Materie das Bild zu beherrschen beginnt, zeigt sich die Notwendigkeit neuer physikalischer Ideen, für die allerdings die Quantentheorie einen allgemeinen Rahmen abzugeben scheint.

1956 verließ Schrödinger die irische Insel und folgte einem Ruf seiner Heimat, die alles getan hat, um ihn nach Wien zurückzubekommen. Er war der Österreichischen Regierung dankbar dafür, daß er - im Alter von 69 Jahren - an die Stätte seiner ersten wissenschaftlichen Tätigkeit, an das Physikalische Institut der Universität Wien, zurückkehren konnte. Am 4. Jänner 1961 starb Erwin Schrödinger in Wien. Begraben wurde er auf dem stillen kleinen Friedhof in Aßbach, inmitten seiner geliebten Tiroler Berge.