2. Präsenzübung zur Vorlesung Quantenmechanik

Die Präsenzübung wird in den Übungen am 5. November 2004 unter Anleitung des/r Tutors/in gemeinsam bearbeitet.

Für die aktive Mitarbeit gibt es **2 Punkte** !

Aufgabe P4: *"Fourier"-Darstellung der δ-Funktion*
Die Funktion $\delta_\epsilon(x-a)$ ist gegeben durch:

$$\delta_\epsilon(x-a) = \frac{1}{2\epsilon}\Theta(a+\epsilon-x)\Theta(x-a+\epsilon).$$

Der Grenzwert $\epsilon \to 0$ ergibt eine Darstellung der δ-Funktion:

$$\delta(x-a) = \lim_{\epsilon\to 0}\delta_\epsilon(x-a).$$

Daraus läßt sich eine weitere, wichtige Darstellung der δ-Funktion ableiten: Berechnen Sie dazu die Fourier-Transformierte von $\delta_\epsilon(x-a)$ und betrachten Sie deren Grenzwert $\epsilon \to 0$. Durch Rücktransformation ergibt sich die "Fourier"- Darstellung von $\delta(x-a)$:

$$\delta(x-a) = \frac{1}{2\pi}\int e^{ik(x-a)}dk.$$

Aufgabe P5: *Dreidimensionale Fourier-Transformation*

$$\hat{\phi}(\vec{k}) = \int_{-\infty}^{\infty} d^3x\, e^{-i\vec{k}\vec{x}}\phi(\vec{x}) \qquad\qquad \phi(\vec{x}) = \int_{-\infty}^{\infty}\frac{d^3k}{(2\pi)^3}e^{i\vec{k}\vec{x}}\hat{\phi}(\vec{k}).$$

Berechnen Sie als Beispiel die Fourier-Transformierte von

$$\phi(\vec{x}) = \frac{e^{-\mu|\vec{x}|}}{|\vec{x}|}.$$

Nicht einmal falsch
Wenn PAULI an einem Gedanken oder einer Theorie überhaupt keinen Gefallen fand, sagte er:"Nicht einmal falsch."

Aus: Anna Ehlers, *Liebes Hertz !, Physiker und Mathematiker in Anekdoten*, Birkhäuser Verlag, 1994, S. 47

Erwin Schrödinger

Erwin Schrödinger wurde am 12.August 1887 in Wien geboren und starb am 4.Januar 1961 in Alpbach.

Friedrich Hasenöhrl war sein wichtigster Lehrer, und Schrödinger hörte bei ihm acht Semester lang in fünf Wochenstunden theoretische Physik. 1910 wurde Schrödinger promoviert und anschließend Assistent bei **Franz Exner** am 2.Physikalischen Institut der Universität Wien. 1920/21 wirkte er je ein Semester als Dozent in Jena, als Extraordinarius in Stuttgart und Ordinarius in Breslau. Nach seiner Berufung an die Universität Zürich lebte Schrödinger sechs Jahre in der Schweiz, mit der der Österreicher sich heimatlich verbunden fühlte. Wissenschaftlich ergaben sich fruchtbare Kontakte zu Peter Debye und vor allem zu **Hermann Weyl**.

In diesen Jahren bearbeitete er eine Fülle aktueller wissenschaftlicher Probleme. Unter das Hauptthema **statistische Wärmetheorie** gehören Abhandlungen aus Gas- und Reaktionskinetik, Schwankungsfragen, die Thermik der Gitterschwingungen und ihr Beitrag zur inneren Energie; dazu kamen klärende Betrachtungen der mathematischen Statistik. In seinem Handbuchartikel zur **Theorie der spezifischen Wärme** sowie in einer Monographie über **statistische Thermodynamik** hat Schrödinger dieses Gebiet zusammenfassend dargestellt.

Einige Arbeiten zur älteren Bohrschen **Quantentheorie** schlossen sich an, blieben aber doch vereinzelt. Dagegen wiesen die ersten Abhandlungen zur **Relativitätstheorie** ein zweiter Schwerpunkt seines Interesses. Und neben all diesem beschäftigte sich Schrödinger ausführlich, messen wie rechnend, mit der **Metrik des Farbraumes** und der **Theorie des Farbsehens**. Ein Artikel im 'Müller-Pouillet' und die Zustimmung der Physiologen zu seiner Deutung des Häufigkeitsverhältnisses von Rot-Grün-Blindheit, zum Blau-Gelb-Ausfall waren die bleibenden Ergebnisse.

Als Schrödinger auf die Anfang 1925 publizierte Doktorarbeit Louis de Broglies und auf Einsteinsche Arbeiten zur Bosestatistik aufmerksam geworden war, wollte er *"Ernst machen mit der de Broglie-Einsteinschen Undulationstheorie der bewegten Korpuskel, nach welcher dieselbe nichts weiter als eine Art 'Schaumkamm' auf einer den Weltgrund bildenden Wellenstrahlung ist'.*

Nachdem er die neuen Gedanken zunächst auf die **Gastheorie** angewandt hatte, übertrug er sie Anfang November 1925 auf das einzelne Atom. Die Intensität, mit der Schrödinger an dem Problem arbeitete, verstärkte sich, als er sah, daß er einer **'neuen Atomtheorie'** auf die Spur gekommen war, und erreichte einen Höhepunkt während seines Winterurlaubs in Arosa. Am 27.Dezember 1925 schrieb er an Wilhelm Wien, den Herausgeber der Annalen der Physik:

"Im Augenblick plagt mich eine neue Atomtheorie. Wenn ich nur mehr Mathermatik könnte! Ich bin bei dieser Sache sehr optimistisch und hoffe, wenn ich es nur rechnerisch bewältigen kann, so wird es sehr schön."

Zunächst stellte Schrödinger eine relativistische Theorie auf, die heute sogenannte 'Klein-**-Gordon-Gleichung'**; diese gibt zwar die unrelativistischen **'Balmer-Terme'** richtig, aber die Feinstruktur falsch wieder, wie sie, wie wir heute wissen, nicht Elektronen, sondern Teilchen mit Spin Null beschreibt. Über seinen Mißerfolg war Schrödinger sehr enttäuscht, griff aber kurze Zeit später auf die unrelativistische Theorie zurück. So entstand die Wellenmechanik im Januar 1926.

Bei dem Aufbau seiner **neuen Quantentheorie** leiteten Schrödinger ganz andere Vorstellungen, als sie der **Göttinger Matrizenmechanik** zugrunde lagen:

"Es ist kaum nötig hervorzuheben, um wie vieles sympathischer die Vorstellung sein würde, daß bei einem Quantenübergang die Energie aus einer Schwingungsform in eine andere übergeht, als die Vorstellung von den springenden Elektronen"

Es mag für Schrödinger zunächst eine Überraschung, dann aber angesichts der abfälligen Urteile der Göttinger und Kopenhagener Physiker einen großen Triumph bedeutet haben, daß es ihm im März 1926 gelang, die 'Identität' der Matrizen- und Wellenmechanik vom 'formal-mathematischen' Standpunkt zu zeigen.

In seinen ersten Veröffentlichungen hatte Schrödinger von der **Wellenfunktion** *F* als von etwas unmittelbar Anschaulichem einer Schwingungsamplitude im dreidimensionalen Raum gesprochen. Er versuchte, die Größe $F F^*$ als elektrische Ladungsdichte zu interpretieren und wollte die Physik auf eine durchgängige Wellenvorstellung gründen. Da aber die Experimente doch zweifellos streng lokalisierte Teilchen zeigen, versuchte Schrödinger den Begriff der **Wellengruppe** einzuführen. Es zeigte sich aber, daß auch hierdurch der Teilchencharakter nicht erfaßt werden konnte.

Als Max Born bald darauf die Größe $F F^*$ als Wahrscheinlichkeit interpretierte, hielt Schrödinger das für eine arge Mißdeutung seiner Theorie, und von hier an ging die Entwicklung der **Quantentheorie** einen ganz anderen Weg, als Schrödinger wünschte. Über die **Kopenhagener Deutung** von Werner Heisenberg und Niels Bohr 1927 sagte Schrödinger:

"Es muß de Broglie genauso getroffen und enttäuscht haben wie mich, als wir erfuhren, daß...eine Art transzendentaler, nahezu psychischer Auslegung...das beinahe allseits anerkannte Dogma geworden ist."

1927 wurde Schrödinger als Nachfolger Max Plancks nach Berlin gerufen; als überzeugter Liberaler emigrierte Schrödinger 1933 freiwillig nach Oxford. 1936 ging er nach Graz, wo er nach dem Anschluß Österreichs als erwiesener Gegner des Regimes aus seinem Lehramt entlassen wurde; mittellos, aber unbehelligt gelang Schrödinger die Ausreise. Der als Völkerbundspräsident amtierende irische Ministerpräsident **Eamon de Valera** stellte Schrödinger unter seinen besonderen Schutz. In Dublin wurde das 'Institut for Advanced Studies' gegründet, wo Schrödinger im Oktober 1939 eine neue Lebensstellung fand. Junge Physiker aus aller Welt erhielten Stipendien und verbrachten ein oder zwei Jahre am Schrödingerschen Institut. Berühmt war die jährliche 'Summer School' in Dublin, ein zwangloses Treffen, auf dem aktuelle Fragen der Physik diskutiert wurden.

In den Jahren der Emigration veröffentlichte Schrödinger viele **Arbeiten zur Anwendung und statistischen Deutung der Wellenmechanik**, über den mathematischen Charakter der neuen Statistik und ihre Beziehungen zur **statistischen Wärmetheorie**. Daneben traten die Fragen der allgemeinen Relativität, vor allem die relativistische Behandlung der Wellenfelder im Unterschied zu der zunächst unrelativistisch formulierten Wellenmechanik; auch einige kosmologische Probleme regten ihn zu Arbeiten an. Besonders aber widmete Schrödinger ebenso wie der alte Einstein einen großen Teil, seiner Arbeitskraft der Weiterentwicklung der **Einsteinschen Gravitationstheorie** zur 'einheitlichen Feldtheorie', deren Maßbestimmung von allen bekannten Wechselwirkungskräften zwischen Teilchen bestimmt sein sollte.

Schrödinger hat sich in seiner letzten Schaffensperidode eingehend den Grundlagen der Physik und ihrer Bedeutung für Weltanschauung und Philosophie zugewandt. Er hat mehrere Studien in Buchform darüber veröffentlicht, die meist zuerst in Englisch bei der 'Cambridge University Press' erschienen und dann ins Deutsche übertragen wurden. Schrödinger war bekannt für seine hervorragenden Darstellungen, die Arnold Sommerfeld als den "Schrödingerschen Stil" bezeichnete. Schrödinger schrieb und sprach außer in den beiden alten auch in vier lebenden Sprachen und fertigte viele Übersetzungen seiner Werke an. Er hielt mit großer Sorgfalt ausgearbeitete Vorlesungen, schrieb aber auch ein Bändchen eigener Gedichte. Schrödingers Leben ist gekennzeichnet durch ein Wechselspiel intensiver Schaffensperioden und schöpferischer Pausen mit frohem Lebensgenuß.

1956 kehrte er nach Österreich zurück, wo er noch zwei Jahre an der Universität Wien tätig war. Die letzten Jahre verbrachte er in Alpbach, inmitten der von ihm geliebten Tiroler Berge.

Quelle: Armin Hermann 'Lexikon - Geschichte der Physik A-Z', Aulis-Verlag Deubner & Co KG 1978