

Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen.

Von W. Heisenberg in Göttingen.

(Eingegangen am 29. Juli 1925.)

A CENTURY OF QUANTUM MECHANICS

1925 - 2025

Celebrating a Revolution in Physics

Bekanntlich läßt sich gegen die formalen Regeln, die allgemein (der Quantentheorie zur Berechnung beobachtbarer Größen (z.B. der Energie im Wasserstoffatom) benutzt werden, der schwerwiegende Einwand erheben, daß jene Rechenregeln als vorwiegend empirische Beziehungen enthalten zwischen Größen, die schon prinzipiell nicht beobachtet werden können (wie z.B. Ort, Umlaufzeit des Elektrons), daß also jenen Regeln offenbar jedes anschauliche physikalische Fundament mangelt, wenn man nicht hoffen will, an der Hoffnung festhalten zu will, daß jene bis jetzt unerkennbaren Größen später vielleicht experimentell zugänglich gemacht werden könnten. Diese Hoffnung könnte als berechtigt angesehen werden, wenn die genannten Regeln in sich konsequent und auf einen festumrungenen Bereich quantentheoretischer Probleme anwendbar wären. Die Erfahrung zeigt aber, daß sich nur das Wasserstoffatom und der Starkfeld-Effekt dieses Atoms jenen formalen Regeln der Quantentheorie fügen, daß aber schon beim Problem der „gekreuzten Felder“ (Wasserstoffatom in elektrischem und magnetischem Feld verschiedener Richtung) fundamentale Schwierigkeiten auftreten, daß die Reaktion der Atome auf periodisch wechselnde Felder sicherlich nicht durch die genannten Regeln beschrieben werden kann, und daß schließlich eine Anschauung der Quantenregeln auf die Behandlung der Atome mit mehreren Elektronen fast vollständig erloschen hat. Es ist üblich geworden, diese Versagen der quantentheoretischen Regeln,

Zur Quantenmechanik. II.

Von M. Born, W. Heisenberg und P. Jordan in Göttingen.

(Eingegangen am 16. November 1925.)

Die aus Heisenbergs Ansätzen in Teil I dieser Arbeit entwickelte Quantentheorie wird auf Systeme mit mehreren Freiheitsgraden ausgedehnt. Die Störungstheorie für Systeme mit unendlich vielen Freiheitsgraden wird nachgewiesen. Die gewonnenen Resultate werden zur Ableitung der Sätze über Impuls und Drehimpuls und zur Ableitung von Auswahlregeln und Intensitätsbeziehungen benutzt. Schließlich werden die Ansätze der Theorie auf die Statistik der Eigenschwingungen eines Hohlraumes angewendet.

Einleitung. Die vorliegende Arbeit versucht den weiteren Ausbau der Quantentheorie auf Systeme mit mehreren Freiheitsgraden, deren physikalische und mathematische Grundlagen in zwei vorausgegangenen Arbeiten der Verfasser¹⁾ dargestellt sind. Es erwies sich als möglich, die genannte Theorie auf Systeme von mehreren Freiheitsgraden zu erweitern²⁾ (Kap. 2) und durch Einführung der „kanonischen Transformationen“ das Problem der Integration der Bewegungsgleichungen auf bekannte mathematische Fragestellungen zurückzuführen; dabei ergab sich mittels dieser Theorie der kanonischen Transformationen einerseits eine Störungstheorie (Kap. 1, § 4), die eine weitgehende Ähnlichkeit mit der klassischen Störungstheorie aufweist, andererseits ein Zusammenhang der Quantenmechanik mit der mathematisch so hochentwickelten Theorie der quadratischen Formen unendlich vieler Variablen (Kap. 3). Bevor wir aber auf die Darstellung dieser weiteren Entwicklung der Theorie eingehen, werden wir ihren physikalischen Inhalt genauer zu umgrenzen suchen.

Der Ausgangspunkt der versuchten Theorie war die Überzeugung, daß es nicht möglich sein werde, den Schwierigkeiten, die uns in der Quantentheorie gerade in den letzten Jahren auf Schritt und Tritt be-

Aula Gerace, Polo Fibonacci Ed. C Informatica

24 October 2025 16:00

Prof. Olivier Darrigol

Directeur de recherches - CNRS/Université Denis Diderot, Paris, France

per maggiori informazioni, contattare
steven.neil.shore@unipi.it



Dipartimento di Fisica "E. Fermi"
UNIVERSITÀ DI PISA



How Heisenberg discovered quantum mechanics

In 1923-24, the quantum theory of Bohr and Sommerfeld entered a state of severe crisis as it became clear that this theory could not account for an atom as simple as the helium atom, or for the intricacies of the Zeeman effect in higher atoms. The leading quantum theorists began to doubt the possibility of describing atomic motion in terms of electronic orbits. This loss seemed to jeopardize the principle of a correspondence between the orbits' periodicity properties and the spectrum of the emitted light, which Bohr and his collaborators had abundantly used to construct their theory. At the same time, Kramers, Born, and Heisenberg understood that the correspondence principle could still be used in a purely symbolic manner, as a means to translate relations between the Fourier components of a classical motion into relations between the intensities of spectral lines in a quantum system. In the spring of 1925, Heisenberg understood that this symbolic translation could be applied directly to a Fourier decomposition of the classical equation of motion. This is how he obtained a system of equations (for quantum amplitudes ruling the quantum jumps between two quantum states) in which we now recognize the equations of quantum mechanics for a system with one degree of freedom