

## Antrittsrede des Hrn. SCHRÖDINGER.

Wenn ich heute den aufrichtig gefühlten Dank ausspreche für die Auszeichnung, die mir durch die Wahl in die Akademie der Wissenschaften zuteil geworden ist, so ist es mir eine ganz besondere Freude, an unserer Spitze in voller Frische und Rüstigkeit den allverehrten Meister zu sehen, dessen Nachfolger im Lehramte zu sein ich mich rühmen darf und dessen Urteil auch Ihre Wahl entscheidend beeinflußt haben wird.

Lassen Sie mich zuerst so kurz wie möglich der unangenehmen Pflicht genügen, die eine akademische Antrittsrede auflegt, nämlich von sich selbst zu sprechen. — Das alte Wiener Institut, dem LUDWIG BOLTZMANN erst kurz zuvor auf tragische Weise entrissen worden war, das Haus, wo FRITZ HASENÖHRL und FRANZ EXNER wirkten und viele andere von BOLTZMANN'S Schülern aus- und eingingen, vermittelte mir ein unmittelbares Einfühlen in die Ideen dieses gewaltigen Geistes. Sein Ideenkreis spielt für mich die Rolle der wissenschaftlichen Jugendgeliebten, kein anderer hat mich wieder so gepackt, keiner wird es wohl jemals tun. Der modernen Atomtheorie kam ich nur sehr langsam näher. Ihre inneren Widersprüche klangen wie kreischende Dissonanzen an der reinen, unerbittlich klaren Gedankenfolge BOLTZMANN'S gemessen. Eine Zeitlang ergriff ich förmlich die Flucht und rettete mich, angeregt durch FRANZ EXNER und K. W. F. KOHLRAUSCH, ins Gebiet der Farbenlehre. Mancher eigene und mancher fremde Versuch, in der Atomtheorie durch radikalste Abänderung wenigstens wieder zur Klarheit zu kommen, wurde geprüft und verworfen. Erst DE BROGLIE'S Gedanke der Elektronenwellen, den ich zur undulatorischen Mechanik ausbaute, gewährte eine gewisse Erleichterung. Aber wir sind noch ziemlich weit entfernt von einem wirklichen Begreifen des durch die Undulationsmechanik einerseits, durch HEISENBERG'S Quantenmechanik andererseits angebahnten Naturverständnisses.

Die theoretische Physik setzt sich zum Ziel, aus der empirischen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen allgemeine Züge oder Gesetzmäßigkeiten herauszulesen, derart, daß in der bunten Fülle des wirklich Erlebten jeder Einzelfall als Ausfluß dieser wenigen einfachen Gesetzmäßigkeiten erscheint, während die anfangs unüberblickbare Mannigfaltigkeit von Einzelfällen auf die völlig überblickbare Mannigfaltigkeit der Versuchsbedingungen zurückgeführt wird. Das typische, für die Gestaltung unserer Wissenschaft richtunggebende Beispiel einer solchen Erfassung des Geschehens durch Gesetze bildet die klassische Mechanik, welche das Verhalten eines Gebildes unter allen erdenklichen Umständen in wenige Grundgleichungen zusammenfaßt und das spezielle Verhalten im speziellen Fall auf die speziellen Anfangsbedingungen zurückführt, mathematisch gesprochen auf die speziellen Zahlenwerte der Integrationskonstanten.

(1)



Man hat lange Zeit hindurch versucht, nicht nur die Methode der klassischen Mechanik, sondern sie selbst auf die ganze Physik auszudehnen, wohl um ihrer Einfachheit und mathematischen Durchsichtigkeit willen; man hat versucht, alle Erscheinungen durch mechanische Modelle zu begreifen. Davon ist man längst zurückgekommen und heute um so mehr, da die neueste Phase der Quantentheorie die klassische Mechanik auf den Rang einer ersten Näherung herabdrückt. Eine der brennendsten Fragen, die uns in diesem Zusammenhang heute beschäftigen, ist die, ob mit der klassischen Mechanik auch ihre Methode aufzugeben sei, der Grundsatz, daß feste Gesetze im Verein mit den zufälligen Anfangsbedingungen das Geschehen im Einzelfall eindeutig bestimmen. Es ist die Frage nach der Zweckmäßigkeit des unverbrüchlichen Postulates der Kausalität.

Praktisch hatte man auf die Kausalität allerdings schon im Rahmen der klassisch-mechanischen Naturerklärung verzichten müssen. Mir persönlich ist diese Tatsache mit einem tiefen Jugendeindruck bei der Antrittsvorlesung FRITZ HASENÖHRLS verknüpft, des allzufrüh durch den Krieg uns Entrissenen, dem ich die Grundlage meiner wissenschaftlichen Persönlichkeit danke. Es würde, so erklärte uns HASENÖHRL, nicht gegen die Naturgesetze verstoßen, wenn dieses Stück Holz sich plötzlich ohne erkennbaren Grund in die Luft erhebe. Nach der mechanischen Naturerklärung ist ein solches Wunder als Umkehrung des entgegengesetzten Vorganges nicht unmöglich, es ist nur außerordentlich unwahrscheinlich. — Aber die Wahrscheinlichkeitsauffassung der Naturgesetze, die HASENÖHRL bei diesen Worten im Auge hatte, verstößt noch nicht wirklich gegen das Kausalitätspostulat. Die Unbestimmtheit entspringt dabei nur aus der praktischen Unmöglichkeit, den Anfangszustand eines aus Billionen von Atomen zusammengesetzten Körpers genau festzustellen. Heute dagegen werden Zweifel an der eindeutigen Bestimmtheit des Naturgeschehens in ganz anderem Sinne laut. Die Schwierigkeit bei der Feststellung des Anfangszustandes soll nicht nur eine praktische, sondern eine prinzipielle sein, sie soll nicht nur für ein kompliziertes Gebilde, sondern schon für das einzelne Atom oder Molekül vorliegen. Da das prinzipiell nicht Beobachtbare für den Naturforscher als Naturforscher nicht existiert, ist der Sinn dieser Meinung: schon der Zustand des Elementargebildes liegt nicht in solcher Weise fest, daß eine ganz bestimmte Einwirkung ein ganz bestimmtes Verhalten des Gebildes nach sich zieht.

FRANZ EXNER (dem ich für ungewöhnlich große Förderung persönlichen Dank schulde) war der erste, der die Möglichkeit und die Vorzüge akausaler Naturauffassung in den Vorlesungen erörterte, die er 1919 publiziert hat. Seit 1926 ist die Frage durch die Quantentheorie unter neuem Gesichtspunkt aufgerollt. Sie scheint in der Tat von grundlegender Wichtigkeit. Aber ich glaube nicht, daß sie in dieser Form jemals beantwortet werden wird. Es handelt sich bei dieser Frage meines Erachtens nicht um eine Entscheidung über die wirkliche Beschaffenheit der Natur, wie sie uns entgegentritt, sondern über die Zweckmäßigkeit und Bequemlichkeit der einen oder der anderen Einstellung unseres Denkens, womit wir der Natur gegenüberreten. HENRI POINCARÉ hat ausgeführt, daß wir auf den wirklichen Raum ebensowohl die Euklidische wie eine beliebige nicht-Euklidische Geometrie anwenden dürfen, ohne eine

Widerlegung durch Tatsachen befürchten zu müssen. Aber die physikalischen Gesetze, die wir finden, sind Funktion der Geometrie, die wir anwenden, und es kann sein, daß die eine Geometrie verwickelte, die andere weit einfachere physikalische Gesetze herbeiführt. Dann ist die eine Geometrie bequem, die andere unbequem, ohne daß doch die Worte »richtig« oder »falsch« am Platze wären. Ähnlich dürfte es sich mit dem Postulat der unverbrüchlichen Kausalität verhalten. Es sind wohl kaum Erfahrungstatsachen denkbar, welche endgültig darüber entscheiden, ob das Naturgeschehen in Wirklichkeit absolut determiniert oder partiell unbestimmt ist, sondern höchstens darüber, ob die eine oder die andere Auffassung einen einfacheren Überblick über das Beobachtete erlaubt. Selbst bis zu dieser Entscheidung ist wohl noch eine lange Frist. Sind wir doch auch hinsichtlich der Geometrie der Welt nur um so unsicherer, seitdem wir uns mit POINCARÉ unserer Wahlfreiheit bewußt geworden sind.

### Erwiderung des Sekretars Hrn. PLANCK.

Die Aufgabe, Ihnen, Herr Kollege SCHRÖDINGER, auf Ihre an die Akademie gerichteten Worte eine Erwiderung zu widmen, besitzt für mich einen mehrfachen Reiz, zunächst schon deshalb, weil ich zu denjenigen Ihrer Fachgenossen gehöre, die aus nächster Nähe beurteilen können, welche Bereicherung der Bestand der Akademie durch die Gewinnung Ihrer jugendlichen Kraft erfahren hat. Sodann aber muß gerade die dankenswerte Selbstüberwindung, welche Sie aufgebracht haben, um uns einen etwas tieferen Einblick in Ihre wissenschaftliche Gedankenwelt tun zu lassen, zu einem Meinungs austausch über manche der von Ihnen angeregten Fragen einladen. Sie haben uns dabei wieder dieselbe Unabhängigkeit des Urteils und denselben frischen Wagemut offenbart, der Sie schon früh eigene Wege gehen ließ, und den wir von Ihren bisherigen Arbeiten auf den allerverschiedensten Gebieten der Physik her kennen, mochten Sie nun die Dynamik elastisch gekoppelter Punktsysteme, oder die Theorie der Brownschen Bewegung, oder den Kapillardruck in Gasblasen, oder die Akustik der Atmosphäre, oder die Möglichkeit einer exakten Farbenmetrik, oder die Interferenzfähigkeit stark divergierender Strahlen, oder die Gesetze der Gasentartung, oder die Grundlagen der Quantenmechanik in den Kreis Ihrer Interessen ziehen.

Heute ist es namentlich der von Ihnen angedeutete folgenschwere Gedanke, ob nicht die gegenwärtige Krisis der theoretischen Physik vielleicht auch dazu führen könnte, zugleich mit der klassischen Theorie auch das Kausalitätsgesetz seiner strengen Gültigkeit zu entkleiden, der zu einer näheren Erörterung auffordert. Und da Sie dem besagten Gedanken nicht nur nicht ablehnend, sondern eher, wie mir scheint, mit einer gewissen wohlwollenden Neutralität gegenüberstehen, so kann ich doch der Verlockung nicht widerstehen, hier einmal meinerseits mit einigen Worten für die streng kausale Physik eine Lanze einzulegen, selbst auf die Gefahr hin, daß ich Ihnen als ein engherziger

Widerlegung durch Tatsachen befürchten zu müssen. Aber die physikalischen Gesetze, die wir finden, sind Funktion der Geometrie, die wir anwenden, und es kann sein, daß die eine Geometrie verwickelte, die andere weit einfachere physikalische Gesetze herbeiführt. Dann ist die eine Geometrie bequem, die andere unbequem, ohne daß doch die Worte »richtig« oder »falsch« am Platze wären. Ähnlich dürfte es sich mit dem Postulat der unverbrüchlichen Kausalität verhalten. Es sind wohl kaum Erfahrungstatsachen denkbar, welche endgültig darüber entscheiden, ob das Naturgeschehen in Wirklichkeit absolut determiniert oder partiell unbestimmt ist, sondern höchstens darüber, ob die eine oder die andere Auffassung einen einfacheren Überblick über das Beobachtete erlaubt. Selbst bis zu dieser Entscheidung ist wohl noch eine lange Frist. Sind wir doch auch hinsichtlich der Geometrie der Welt nur um so unsicherer, seitdem wir uns mit POINCARÉ unserer Wahlfreiheit bewußt geworden sind.

### Erwiderung des Sekretars Hrn. PLANCK.

Die Aufgabe, Ihnen, Herr Kollege SCHRÖDINGER, auf Ihre an die Akademie gerichteten Worte eine Erwiderung zu widmen, besitzt für mich einen mehrfachen Reiz, zunächst schon deshalb, weil ich zu denjenigen Ihrer Fachgenossen gehöre, die aus nächster Nähe beurteilen können, welche Bereicherung der Bestand der Akademie durch die Gewinnung Ihrer jugendlichen Kraft erfahren hat. Sodann aber muß gerade die dankenswerte Selbstüberwindung, welche Sie aufgebracht haben, um uns einen etwas tieferen Einblick in Ihre wissenschaftliche Gedankenwelt tun zu lassen, zu einem Meinungs-austausch über manche der von Ihnen angeregten Fragen einladen. Sie haben uns dabei wieder dieselbe Unabhängigkeit des Urteils und denselben frischen Wagemut offenbart, der Sie schon früh eigene Wege gehen ließ, und den wir von Ihren bisherigen Arbeiten auf den allerverschiedensten Gebieten der Physik her kennen, mochten Sie nun die Dynamik elastisch gekoppelter Punktsysteme, oder die Theorie der Brownschen Bewegung, oder den Kapillardruck in Gasblasen, oder die Akustik der Atmosphäre, oder die Möglichkeit einer exakten Farbenmetrik, oder die Interferenzfähigkeit stark divergierender Strahlen, oder die Gesetze der Gasentartung, oder die Grundlagen der Quantenmechanik in den Kreis Ihrer Interessen ziehen.

Heute ist es namentlich der von Ihnen angedeutete folgenschwere Gedanke, ob nicht die gegenwärtige Krisis der theoretischen Physik vielleicht auch dazu führen könnte, zugleich mit der klassischen Theorie auch das Kausalitätsgesetz seiner strengen Gültigkeit zu entkleiden, der zu einer näheren Erörterung auffordert. Und da Sie dem besagten Gedanken nicht nur nicht ablehnend, sondern eher, wie mir scheint, mit einer gewissen wohlwollenden Neutralität gegenüberstehen, so kann ich doch der Verlockung nicht widerstehen, hier einmal meinerseits mit einigen Worten für die streng kausale Physik eine Lanze einzulegen, selbst auf die Gefahr hin, daß ich Ihnen als ein engherziger

Reaktionär erscheine. Dazu treibt es mich um so mehr, als wir es ja hier mit einer Angelegenheit zu tun haben, die nicht allein die Physik angeht, und die, wenn sie nicht von der Physik befriedigend erledigt wird, sich weit über deren Grenzen hinaus vielleicht recht verhängnisvoll auswirken könnte.

Die Frage, ob die Gesetzmäßigkeiten, auf die wir in der Natur stoßen, im Grunde sämtlich nur Zufallscharakter besitzen, also statistischer Art sind, läßt sich auch folgendermaßen formulieren: sollen wir die Erklärung für die tatsächlich allenthalben auftretende Unsicherheit und Ungenauigkeit, die jeder einzelnen physikalischen Beobachtung anhaftet, stets nur in speziellen Eigentümlichkeiten des jeweils vorliegenden Falles suchen, sei es in der komplizierten Beschaffenheit des betrachteten physikalischen Objektes, sei es in der Unvollkommenheit der benutzten Meßgeräte einschließlich unserer Sinnesorgane, oder sollen wir die Unsicherheit weiter rückwärts verlegen in die Fassung der elementaren Grundgesetze der Physik?

Zunächst stimme ich Ihnen darin völlig bei, daß diese Frage im Grunde eine Frage der Zweckmäßigkeit ist. Denn eine jede physikalische Theorie ist ein Gerüst, das sich der Geist des Forschers nach freiem Ermessen, so gut er es eben vermag, zurechtzimmert, und wenn dasselbe seinen Zweck, ein möglichst getreues Abbild der Natur vorzustellen, auch noch so gut erfüllt, so wird man doch niemals beweisen können, daß es keiner Verbesserung fähig wäre.

Aber das Gerüst bedarf auf jeden Fall eines festen Grundes, wenn es nicht in der Luft stehen soll, und wenn das Postulat der unverbrüchlichen Kausalität sich nicht mehr wie bisher als Grundlage eignen sollte, so liegt doch zunächst einmal die Gegenfrage nahe, was denn nun für die »akausale« Physik als Grundlage eingeführt werden soll. Denn ganz ohne irgendeine Voraussetzung läßt sich doch überhaupt keine physikalische Theorie entwickeln, es sei denn, daß man die bloße Registrierung einzelner Beobachtungstatsachen schon als eine Theorie ausgeben wollte.

Doch ich will hier nicht einmal so weit gehen, eine Beantwortung dieser Frage zu verlangen. Es würde mir auch ganz genügen, wenn nur irgendein zwingender Grund dafür angegeben werden könnte, daß die kausale Physik nicht ausreicht, um den Tatsachen der Erfahrung gerecht zu werden, daß also vielleicht der Rahmen, in den sie die Naturereignisse einfassen will, zu eng gespannt ist. Nun weist aber gerade das Beispiel, welches Sie von Ihrem der Wissenschaft zu früh entrissenen Lehrer FRITZ HASENÖHRL angeführt haben, nach der entgegengesetzten Richtung. Denn daß die Atome eines Holzklotzes bei ihren schnellen unregelmäßigen Bewegungen zufällig einmal gerade alle nach oben fliegen, ist vom Standpunkt der kausalen Physik nicht nur nicht unmöglich, sondern sogar innerhalb eines hinlänglich langen Zeitraumes mit einiger Wahrscheinlichkeit zu erwarten, und gerade die experimentelle quantitative Bestätigung derartiger Schwankungsgesetze bedeutet in meinen Augen eine ausgezeichnete Stütze zugunsten des Postulates der strengen Kausalität, mit dessen Hilfe sie ja doch abgeleitet worden sind.

Einen Punkt gibt es allerdings in der bisherigen Physik, der einer Revision bedarf, und dieser Punkt ist es vermutlich auch, der den ganzen

Zweifel an der Zuverlässigkeit des Kausalgesetzes hervorgerufen hat. Wir müssen künftig die bisher stets stillschweigend gemachte Voraussetzung fallen lassen, daß wir die Bedingungen, welche einen Vorgang kausal determinieren, auch stets experimentell bis zu einem prinzipiell unbeschränkten Grade von Genauigkeit verwirklichen können. Diese Voraussetzung ist in der Tat mit den Gesetzen der Quantenmechanik nicht vereinbar. Aber das ist in der exakten Naturwissenschaft durchaus nichts Unerhörtes. In der Biologie z. B. nimmt man es als etwas ganz Selbstverständliches hin; und doch arbeitet die Biologie durchaus mit dem Postulat der strengen Kausalität. Ja ich glaube nicht zu weit zu gehen, wenn ich behaupte, daß in der Biologie die eigentliche Wissenschaft erst da anfängt, wo das Kausalgesetz in sie eingeführt wird.

So wird es, wie mir scheint, auch in der Physik künftig darauf ankommen, die Frage nach den Bedingungen, welche den Verlauf eines Naturvorganges eindeutig kausal bestimmen, grundsätzlich getrennt zu halten von der weiteren Frage, ob und inwieweit diese Bedingungen experimentell zu verwirklichen sind.

Wenn wir bedenken, daß bei neuartigen Problemen eine passende Formulierung der Aufgabe bekanntlich oft schon den halben Weg zu ihrer Lösung bedeutet, so dürfen wir hoffen, daß, von diesem Standpunkt aus gesehen, manche gegenwärtige Schwierigkeit sich einmal lösen und vielleicht auch manche Meinungsdivergenz sich als ein bloßer Streit um Worte entpuppen wird.

Und jetzt komme ich mit meinem letzten und stärksten Argument. Das ist der Hinweis auf die Erfolge, die in der geschilderten Richtung bereits erzielt worden sind. Hier kann ich mich angenehmerweise auf ein einziges glänzendes Beispiel beschränken, nämlich auf die Resultate Ihrer eigenen Arbeiten. Denn Sie sind es gewesen, der zuerst gezeigt hat, wie die raumzeitlichen Vorgänge in einem atomaren Gebilde in der Tat vollständig determiniert werden können, allerdings nur unter der Voraussetzung, daß man als Elemente derselben nicht wie bisher die Bewegungen der Massenpunkte, sondern die Materiewellen ansieht, und wie die rätselhaften diskreten Eigenwerte der Energie des Gebildes mit absoluter Genauigkeit aus der von Ihnen aufgestellten Differentialgleichung zuzüglich der natürlichen Randbedingungen sich berechnen lassen, wobei die Frage nach dem physikalischen Sinn der Materiewellen zunächst noch ganz offen bleiben kann.

Möchte es Ihnen, verehrter Herr Kollege, gelingen, auf dieser von Ihnen eröffneten Bahn weiter vordringend noch manche schöne Erfolge zu ernten. Das ist der zuversichtliche und aufrichtige Glückwunsch, mit dem ich Sie heute im Namen der Akademie willkommen heißen darf.

Ausgegeben am 24. Juli 1929.



Geh. Rat Prof. Planck im Gespräch mit Prof. E. Schrödinger, seinem Nachfolger auf dem Lehrstuhl für theoretische Physik an der Universität Berlin bei der Leibnizsitzung der Preussischen Akademie der Wissenschaften am 4. Juli 1929, bei der Schrödinger, ihr jüngstes Mitglied, seine Einführungsrede hielt