

Kausalität und Quantentheorie

Diese klare Situation wurde weitgehend verdunkelt, als sich aus dem Gebiete der Physik selbst Zweifel daran entwickelten, ob Naturvorgänge kausal beschrieben werden können. Das Verhalten der elementaren Bausteine der Materie schien sich einer solchen Behandlung zu widersetzen. Es ist allerdings nicht ganz leicht, an einem einfachen Fall auseinanderzusetzen, worin die Schwierigkeiten bestehen. Wir versuchen dies zunächst an einem Beispiel, welches immer wieder angeführt wird, obwohl gerade dieses Beispiel einige schwache Seiten besitzt.

Die Untersuchung der radioaktiven Substanzen, z. B. des Radiums selbst, liefert uns folgende für die Radioaktivität höchst charakteristische Erscheinung: Von jeder Menge Radium zerfällt pro Stunde ein gewisser Bruchteil in Radium-Emanation und Helium. Bisher ist es nicht gelungen, diesen Bruchteil durch irgendwelche äußeren Beeinflussungen auch nur um das mindeste zu verändern. Dies bringt aber für eine kausale Beschreibung folgende Schwierigkeit mit sich. Die einzelnen Radiumatome erleiden im Laufe der Zeit ein völlig verschiedenes Schicksal. Die einen bleiben unverändert, die anderen erleiden einen Zerfall. Für diesen Unterschied hat man keine Ursache auffinden können.

Zunächst scheint dieser Einzelfall noch kein hinreichender Grund für das Verlassen des sonst so bewährten Kausalitätsprinzips zu sein. Es könnten doch die Ursachen für das verschiedenartige Schicksal der Radiumatome in diesen Atomen selbst liegen. Wie man heute weiß, sind diese Atome so komplizierte Gebilde, daß man schwer beurteilen kann, was alles in ihrem Innern vor sich geht.

Dieser einfache Ausweg stößt jedoch deshalb auf Schwierigkeiten, weil die radioaktiven Erscheinungen nur ein sehr spezieller Fall des Verhaltens von Atomen, Elektronen und anderen atomaren Gebilden sind.

Dieselbe Situation findet sich bei den Elektronen wieder. Das äußerste Elektron eines Natriumatoms kann man durch Absorption von Licht aus seinem Grundzustand, in dem es sich normalerweise befindet, in einen energiereicheren Zustand heben. Man nennt dies eine Anregung des Atoms. Aus dem angeregten Zustand kann das Elektron entweder direkt in den Grundzustand oder zuerst in einen Zwischenzustand und später erst in den Grundzustand zurückkehren. Ob das eine oder das andere geschieht, verrät sich an dem Licht, welches als Fluoreszenz ausgestrahlt wird. Tatsächlich begibt sich ein gewisser Prozentsatz der Elektronen direkt in den Grundzustand, ein anderer Prozentsatz schlägt dagegen einen Umweg über Zwi-

schenzustände ein. Die Elektronen mehrerer in gleicher Weise angeregter Natriumatome erfahren also ein verschiedenes Schicksal, obwohl sie sich unter denselben Bedingungen befinden und ohne daß für ihr verschiedenes Schicksal bisher eine Ursache gefunden werden konnte.

Es ist aber mittlerweile gelungen, für das Verhalten, sagen wir einmal der Elektronen, außerordentlich präzise Gesetzmäßigkeiten aufzustellen, welche ihre mathematische Niederschrift in der Quantentheorie finden. In sehr großem Umfang hat der Vergleich mit der Erfahrung gezeigt, daß diese Theorie den experimentellen Befund richtig wiedergibt. Andererseits sind die quantentheoretischen Gesetze keine kausalen, sondern statistische Gesetze. Sie ähneln also weniger den Bewegungsgleichungen der Mechanik oder den Gleichungen des elektromagnetischen Feldes, als den Prinzipien der Thermodynamik. Aber auch zwischen Thermodynamik und Quantentheorie besteht ein tiefgehender Unterschied. Bei der Thermodynamik konnte man deutlich machen, daß sie das statistische Gesamtergebnis von zahlreichen kausalen Einzelprozessen an den zahlreichen Molekülen darstellen kann, aus denen die Körper bestehen. Mit anderen Worten, man kann sich über die Bewegung der Moleküle, die zwischen ihnen wirkenden Kräfte, die Vorgänge bei ihren Zusammenstößen ein kausales Modell machen, dann eine statistische Betrachtung über die Vielzahl derartiger Prozesse anstellen und kommt in der Tat zu Ergebnissen, die den Gesetzen der Thermodynamik entsprechen.

Wie steht es mit einem ähnlichen Verfahren bei der Quantentheorie? Zunächst einmal wissen wir nichts darüber, daß etwa Elektronen Gebilde wären, die aus vielen Bausteinen zusammengesetzt sind. Im Gegenteil, man hat sich bisher immer das Elektron als ein einheitliches, nicht unterteiltes Objekt, als ein Elementarteilchen eben, vorgestellt. Trotzdem sagt die Quantentheorie aus und ihre Aussage ist völlig in Übereinstimmung mit der Beobachtung, daß mit vielen Elektronen, die sich unter völlig gleichartigen Umständen befinden, nicht immer das gleiche geschieht. Die Quantentheorie gibt für jede Möglichkeit des Geschehens eine gewisse Wahrscheinlichkeit an und das Experiment zeigt durch Messungen, daß das betreffende Ergebnis mit eben dieser Wahrscheinlichkeit eintritt. Aber das was eintritt, ist für die verschiedenen Elektronen unter sonst gleichen Umständen, soweit dies erkennbar ist, nicht dasselbe.

Natürlich hat man den Versuch unternommen, diese Tatsache kausal zu verstehen. Man hat angenommen, daß bei den Radiumatomen, wie bei den Elektronen, die Ursachen für das verschiedene Schicksal in diesen Gebilden

selbst liegen. Bei den Radiumatomen schien dies sogar dadurch bewiesen zu sein, daß man keine äußeren Ursachen feststellen konnte. Man hat den atomaren Gebilden also gewisse verborgene Parameter zugeschrieben, die sie voneinander unterscheiden sollten, und die für ihr verschiedenes zukünftiges Schicksal verantwortlich gemacht werden sollten. Dieser Versuch, der gerade bei elementaren Teilchen etwas an den Haaren herbeigezogen erscheint, ist fehlgeschlagen. Von Neumann hat beweisen können, daß eine statistische Mittelung über Gebilde mit solchen verborgenen Parametern niemals die Gesetze der Quantentheorie als Ergebnis liefern kann, wenn die verborgenen Parameter Eigenschaften der betrachteten Gebilde selbst sind.

Damit schien die Situation in folgender Weise geklärt: Fest steht erstens, daß die Quantentheorie mit der Beobachtung in Übereinstimmung ist. Fest steht zweitens, daß atomare Gebilde trotz gleicher Umstände ein verschiedenes Schicksal erleiden können, wie von der Quantentheorie gefordert und durch Beobachtung bestätigt ist. Fest steht drittens, daß die Ursachen für das verschiedenartige Verhalten nicht im Innern der atomaren Gebilde liegen können, weil dies in Widerspruch zur Quantentheorie steht. Fest steht viertens, daß man äußere Ursachen dafür nicht hat finden können.

Was schien übrig zu bleiben, außer das Prinzip der Kausalität zu opfern? Das atomare Geschehen scheint nicht nach strengen Gesetzen vor sich zu gehen, sondern es scheint dafür nur statistische Gesetzmäßigkeiten zu geben. Der einzelne Vorgang scheint willkürlich zu verlaufen.

Dieser Schritt von denkwürdiger Bedeutung war schnell vollzogen. Er stößt aber doch auf mancherlei Schwierigkeiten. Das Zustandekommen statistischer Gesetzmäßigkeiten, wo auch immer man sie sonst findet, läßt sich nur auf einer an sich gesetzmäßigen Grundlage verstehen. Wie soll es begreiflich werden, daß das Eintreten eines bestimmten Ereignisses stets mit ganz präziser Wahrscheinlichkeit geschieht, wenn die Ereignisse nicht durch strenge Gesetze bestimmt werden und auch keinen Zusammenhang unter sich besitzen. Woher weiß das einzelne Radiumatom, daß es nunmehr zu zerfallen hat, um die Statistik zu erfüllen? Hat man nicht doch eine Möglichkeit übersehen, als man glaubte bewiesen zu haben, daß kausale Gesetzmäßigkeit für den atomaren Einzelprozeß nicht bestehen könne?

Das Zeronenmodell

Fangen wir also noch einmal von vorne an. Es ist nicht das erste Mal, daß man in der Physik vor der Situation stand, eine Wirkung zu beobachten, für die man keine Ursache erkennen konnte. Früher hätte man aus der be-

obachteten Wirkung mit Sicherheit auf eine noch unbekannte Ursache geschlossen. Dieses Verfahren ist jahrhundertlang gerade die Methode der Naturwissenschaft gewesen. Das hat man allerdings auch bei der Quantentheorie versucht und unerkannte, ja sogar unerkennbare Ursachen in den atomaren Gebilden als verborgene Parameter angenommen. Aber konnte nicht bewiesen werden, daß eine solche Annahme in Widerspruch mit der Quantentheorie steht? An dieser Stelle ist es vielleicht nicht falsch, daran zu erinnern, daß der Kausalitätsbegriff ursprünglich aus dem täglichen Leben stammt. Welchen Schluß würde der Nichtphysiker ziehen, wenn auf einem Tisch sechs belegte Brötchen ständen und davon nach einer Stunde zwei zerfallen wären, d. h. nicht mehr sichtbar wären? Würde er wohl nach inneren Ursachen in diesen Brötchen suchen, welche die einen zum Zerfall brachten, bei den anderen aber noch nicht wirksam waren? Oder würde er vielmehr auf den Gedanken kommen, daß eine äußere Ursache aufgetreten sei und diese beiden Brötchen stillschweigend und ohne sonst eine sichtbare Spur zu hinterlassen, verzehrt habe? Ernsthaft gesprochen, ist jemals erörtert worden, daß es unbekannte, vielleicht sogar unerkennbare *äußere* Ursachen oder Einwirkungen auf die Radiumatome oder Elektronen geben könne, die ihr verschiedenartiges Schicksal hervorbringen. Dies ist nicht geschehen! Oder ist sogar bewiesen worden, daß die Annahme solcher äußerer Einwirkungen in einen Widerspruch zur Quantentheorie oder den experimentellen Beobachtungen gerät? Dies ist noch viel weniger geschehen! Was hindert uns also daran, zu vermuten, daß es gewisse, bisher noch unbekannte Gebilde gäbe, welche auf die atomaren Gebilde, die Elektronen, die Protonen und die anderen Bausteine der Materie gerade in solcher Weise einwirken, daß statt der erwarteten Gesetze der klassischen Physik eben gerade die Gesetze der Quantentheorie als statistisches Ergebnis herauskommen, ohne daß darüber hinaus irgendwelche anderen Spuren ihrer Einwirkungen hinterbleiben. Es muß festgestellt werden, daß eine solche Vermutung jedenfalls niemals widerlegt worden ist. Solange dies nicht geschehen ist, haben wir keinen Grund, das bewährte Prinzip der Kausalität zu verwerfen. Völlig falsch ist es aber, sogar die positive Behauptung aufzustellen, daß das Kausalitätsprinzip im atomaren Bereich ungültig sei.

Es muß allerdings zugegeben werden, daß es dem Physiker unsympathisch ist, irgendwelche unbekannten, ja sogar unerkennbaren Objekte zu postulieren, nur um einer Schwierigkeit zu entgehen. Der Versuch dazu ist jedoch nicht ohne Vorbild. Aus dem Vortrag von Herrn Lampariello haben Sie entnommen, daß schon Heinrich Hertz außer den ponderablen Massen

versteckte Massen postulierte und ihnen Bewegungen zuschrieb, die gerade so beschaffen sein sollten, daß die Kräfte zwischen den bekannten Massen das Ergebnis ihrer Bewegungen sind. In dem Gebiet der klassischen Mechanik erscheint eine solche Vorstellung etwas künstlich und überflüssig, weil die Gesetze der klassischen Mechanik ja keinen statistischen Charakter haben und zu ihrem Verständnis keine Vielzahl von Einzelereignissen erforderlich ist. Bei den statistischen Gesetzmäßigkeiten der Quantentheorie liegt die Annahme bisher unbekannter Objekte sehr viel näher.

Alle diese Erwägungen bleiben aber so lange unfruchtbar, als man nicht ein bestimmtes Modell für jene unbekannten Objekte und ihre Wechselwirkungen mit den elementaren Teilchen angeben kann und aus diesem Modell die Gesetze der Quantentheorie durch statistische Überlegungen deduzieren kann. Diesen Versuch habe ich vor einigen Jahren unternommen. Ich nehme an, im Raum seien überall gewisse Gebilde gleichmäßig verstreut, welche ich Zeronen nennen will und von denen man bisher noch nichts weiß. Diese Gebilde sollen mit den elementaren Teilchen in einem Kräfteaustausch stehen, der so beschaffen ist, daß nach einer Wechselwirkung weder Energie noch Impuls des Elementarteilchens verändert ist. Diese Annahme ist erforderlich, weil man sonst die Zeronen längst entdeckt hätte. Der nächste Gedanke ist allerdings, daß dann ja überhaupt nichts geschieht. Das ist aber nicht so. Wenn das Zeron das Elementarteilchen in der ersten Hälfte seiner Wechselwirkung beschleunigt, und es in der zweiten Hälfte in der gleichen Weise abbremst, bleiben Energie und Impuls ungeändert. Durch die Einwirkung wird das Elementarteilchen jedoch um eine gewisse Strecke im Raume verschoben. Diesen Vorgang habe ich meinen statistischen Überlegungen unterlegt. Ich habe also angenommen, daß die Elektronen oder auch andere elementare Teilchen pausenlos den Einwirkungen durch Zeronen von allen Seiten her unterliegen. Die Richtung der Einwirkung soll aber immerzu abwechseln, aber so, daß im Mittel keine Richtung bevorzugt wird. Nach den ausgearbeiteten Methoden der statistischen Mechanik kann man dann Bilanzen auf Grund dieses Modellbildes aufstellen, und zwar für den Transport, d. h. die Bewegung der Teilchen, und für den Impuls, den sie besitzen. Die Transportbilanz formuliert die Aussage, daß keine Teilchen von selbst entstehen oder vernichtet werden, die Impulsbilanz legt die Annahme nieder, daß der Impuls der Teilchen nur durch Kräfte geändert wird, wie das ja aus der Newtonschen Mechanik bekannt ist. Es werden also keine neuen Annahmen außer der Existenz der Zeronen in die Bilanzen hineingesteckt. Für jede dieser beiden Bilanzen erhält man eine Gleichung.

Diese Rechnung habe ich durchgeführt, ohne mich allerdings der Relativitätstheorie zu bedienen, sondern ich habe mich einfach an die Gesetze der klassischen Elektrodynamik und Mechanik gehalten. Das Ergebnis ist durchaus verblüffend. Die beiden Bilanzen, die ich aufstellen konnte, enthalten also nur die zwei Aussagen, daß die Elementarteilchen weder vernichtet werden, noch daß neue Teilchen aus nichts entstehen, und daß ihr Impuls im Einzelprozeß den Gesetzen der klassischen Mechanik folgt. Diese beiden Bilanzen sind den Aussagen der Quantentheorie in weitem Umfang äquivalent. Man kann die Bilanzen ohne Schwierigkeit mathematisch in die Wellengleichung der Quantentheorie überführen.

Damit sind allerdings noch nicht alle Probleme geklärt. Es ist bekannt, daß die Relativitätstheorie eine Verfeinerung der klassischen Mechanik darstellt, die im atomaren Bereich von größerer Bedeutung als bei den makroskopischen Körpern ist. Es ist ferner bekannt, daß mit dem Besitz der Wellengleichung noch nicht alle Fragen gelöst sind, die in der Quantentheorie eine Rolle spielen. Man muß aber feststellen, daß es dieselben Probleme sind, die der Quantentheorie Schwierigkeiten machen und die mit dem Zeronenmodell nicht bewältigt werden können, z. B. die Lichtausstrahlung. Immerhin scheint mir die Lage, was die Kausalität betrifft, durch meine Untersuchungen vollkommen verändert zu sein. Der angebliche Beweis, daß das Kausalitätsprinzip im atomaren Bereich nicht gelten könne, scheint widerlegt zu sein. Im Gegenteil, es dürfte alles dafür sprechen, daß auch im atomaren Bereich, wie in der sonstigen Physik, die Einzelprozesse gesetzmäßig verlaufen, wenn auch unter Beteiligung von bisher unbekannten Objekten, den Zeronen. Ich möchte vielmehr den Gedankengang umkehren und aus den Gesetzen der Quantentheorie den Schluß auf die Existenz von Zeronen oder ähnlichen Gebilden für berechtigt halten.

Wenn man die Frage aufwirft, ob diese neue Interpretation der Quantentheorie von praktischem Nutzen für die Forschung auf dem Gebiete der Atomphysik sein kann, so kann ich diese Frage nicht beantworten. Neue Effekte lassen sich aus dem Zeronenmodell nicht voraussagen. Das statistische Ergebnis der Zeronentätigkeit ist eben genau die Quantentheorie und auch nur die Quantentheorie, d. h. alles das, was bislang gesichert ist, und sonst nichts. Das aber gerade mußte man von einem Modell zur Erklärung der Quantentheorie verlangen.

Wenn ich meine, daß das Zeronenmodell im Gebiete der Atomphysik selbst nur zur Klärung der Situation führt, aber keinen praktischen Nutzen abwirft, so scheint mir ein gewisser Nutzen auf anderen Sektoren in Aussicht

zu stehen. Die Problematik um die Kausalität hat eine Unzahl von Diskussionen auf den Plan gerufen, welche mir höchst unfruchtbar erscheinen und nur Verwirrung stiften. Daß die strenge Gültigkeit der Naturgesetze sogar auf dem Gebiet der Physik gelockert schien, hat auf allen möglichen anderen Gebieten von der Psychologie bis zur Theologie das Bemühen wach werden lassen, alle möglichen Schwierigkeiten in dem Kausalitätsdefekt, der in dem Planckschen Wirkungsquantum enthalten zu sein schien, bequem unterzubringen. So wenig es aber zulässig ist, die streng kausalen Gesetzmäßigkeiten der Physik ungeprüft auf andere Gebiete zu übertragen und daraus Schlußfolgerungen zu ziehen, so wenig wäre es zulässig gewesen, aus einer Lockerung der Kausalität in der Atomphysik anderswo weittragende Schlüsse zu ziehen. Alle diese Versuche im einen wie im anderen Sinn beschwören die Gefahr herauf, daß unbewiesene und schwer kontrollierbare Anschauungen einen unberechtigten Sicherheitsanspruch erheben, der aus dem scheinbaren Anschluß an die präzisen Methoden der Physik abgeleitet wird. Ein solches Verfahren kann jedoch nur dazu führen, daß die autonome Forschung auf jenen Gebieten Schaden leidet und mit Vorurteilen belastet wird. Wenn durch die Klärung des Kausalitätsproblems etwas dazu beigetragen wird, derartige unproduktive Versuche zu unterlassen, möchte ich dies als einen erheblichen praktischen Nutzen des Zeronenmodells betrachten.

Diskussion

Professor Dr. Heinrich Behnke

Wenn ich nun als erster aufgefordert werde, mich zu dem Vortrag des Herrn Kollegen Weizel zu äußern, so komme ich in einige Verlegenheit. Als Mathematiker sind mir die physikalischen Daten nicht genügend vertraut, um zur Berechtigung einer physikalischen Theorie Stellung nehmen zu können. Zuständig sind wir für die Frage der Haltbarkeit des logischen Aufbaues einer physikalischen Theorie. Der Wert dieser Frage darf aber auch nicht unterschätzt werden. Denn alle Erkenntnis wird ja erst zu einer *wissenschaftlichen* Erkenntnis, wenn sie in ein logisch angeordnetes System gebracht wird. Erst dann ist es möglich, die erdrückende Fülle der Einzelerkenntnisse aus wenigen übersehbaren Fakten jederzeit abzuleiten. Und das ist immer das einzige große Ziel wissenschaftlicher Theorien. Dabei können in den Theorien ebenso statistische Gesetze vorkommen, wie solche, die über das Verhalten eines einzelnen betrachteten Objektes eine Aussage machen.

Die heutige Physik beschreibt das atomare Geschehen nur statistisch. Es ist immer wieder gesagt worden, daß dies grundsätzlich auch nicht anders möglich sei. Diese negative Aussage – wie häufig sind Aussagen dieser Art im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung widerlegt worden – bestreitet nun Herr Weizel. Und er tut es in der Art, in der es ein Naturwissenschaftler immer tun soll, nämlich durch Aufzeigen eines Modells.

Der Redner hat gesagt: „Neue Effekte lassen sich aus dem Zeronenmodell nicht voraussagen.“ Damit widerspricht er seiner eigenen Grundhaltung. Und er begründet es: „Das statistische Ergebnis der Zeronentätigkeit ist eben genau die Quantentheorie.“ Hier scheint mir eine Lücke zu sein; denn das Zeronenmodell liefert die bekannten statistischen Aussagen, aber eben nicht umgekehrt. Aus der Quantentheorie folgt nicht logisch zwingend das Zeronenmodell. Also sind die beiden Theorien nicht gleichwertig. Die Zeronentheorie wäre umfassender und deshalb muß – wie immer nach Aufstellung einer neuen physikalischen Theorie – schließlich eine neue Aussage daraus folgen, die experimentell kontrolliert werden kann.

Professor Dr. Bernhard Rensch

Die Biologie wurde mehrfach angesprochen, die von der Infragestellung der Kausalität im mikrophysikalischen Geschehen bei vielen Problemen berührt wird. Dazu wäre viel zu sagen. Ich will mich aber auf wenige Punkte beschränken. Zunächst zur *Äquivalenz kausaler und finaler Betrachtungsweise*. Gewiß kann man gerade in der Biologie die meisten Vorgänge auch final beschreiben und das geschieht nicht selten, aber ich glaube: nur deshalb, weil es so bequem ist. Man kann sagen, um etwa eines der genannten Beispiele zu erwähnen, daß Kakteen dicke Sprosse haben, *damit* sie als Pflanzen trockener Standorte viel Wasser speichern können. Es ist viel umständlicher, korrekter im Sinne der kausalen Zusammenhänge zu formulieren: Kakteen haben dicke Sprosse, weil im Laufe der Stammesgeschichte eine sukzessive Anpassung an Trockengebiete in der Weise stattgefunden hat, daß von richtungslos aufgesprungenen Mutanten jeweils nur diejenigen der Trockenheit widerstehen konnten, die relativ dicke Sprosse hatten. Es ist also begreiflich, daß man in der Biologie häufiger als in der Physik eine finale Ausdrucksweise gebrauchte und gelegentlich auch versuchte, Analysen mit finaler Betrachtungsweise durchzuführen. Dabei ist aber festzustellen, *daß es in der Biologie nie gelungen ist, finale Gesetzmäßigkeiten zu finden*. Demgegenüber ist aber eine Fülle kausaler Gesetzmäßigkeiten entdeckt worden, und es kommen noch immer neue hinzu. Insofern sind also die beiden möglichen Betrachtungsweisen nicht äquivalent.

Zur Versöhnung der beiden Standpunkte wäre andererseits vielleicht folgendes zu sagen: Die biologischen wie die makrophysikalischen Kausalgesetze sind in jedem Falle durch Induktion gewonnen. Das bedeutet, daß sie letztlich immer nur *Wahrscheinlichkeitsbeweise* sind, die statistisch gewonnen wurden. Natürlich handelt es sich um eine Wahrscheinlichkeit von sehr hohen Graden.

Im übrigen möchte ich aber gerade als Biologe Herrn Weizel unseren Dank aussprechen, daß er bemüht ist, von der Seite der Physik das Wesen der sogenannten Akausalität zu klären und sich dabei von Weiterungen zu distanzieren, die in der Biologie und Naturphilosophie bis zum Problem des freien Willens hin so viele Mißverständnisse zur Folge hatten. Vor allem auch bei der Mutationsforschung können Folgerungen gar nicht vorsichtig genug beurteilt werden.

Etwas wirklich *Akausales* liegt meines Erachtens nur vor bei der *Zuordnung psychischer Komponenten zu bestimmten Kausalkomponenten*. Wenn

in Sinneszellen und anschließend in Ganglienzellen des Hirns Erregungen entstehen und weiterlaufen, so haben wir es mit einer *lückenlosen Kette* kausal determinierter physiologischer Vorgänge zu tun vom Einsetzen des Reizes bis zu mehr oder minder langer Erregung des Hirns bzw. motorischer Nerven, die zur Beantwortung der Reizlage (etwa Ergreifen des Gesehenen) führen. Einem Abschnitt dieser kausalen Prozesse läuft aber dann eine Empfindung (etwa „rot“) parallel. Daß bei bestimmten Abläufen, die von Lichtwellenlängen bestimmter Größe (etwa $700\text{ m}\mu$) ausgelöst werden, parallel die Empfindung „rot“ auftritt, bei ähnlichen Abläufen, die von anderen Wellenlängen (etwa $500\text{ m}\mu$) ausgelöst werden, die Empfindung „grün“ usw., diese sogenannte *Parallelgesetzlichkeit* ist nicht kausal deutbar. Hier und meines Erachtens nur erst hier haben wir es mit Akausalem zu tun.

Professor Dr. Wilhelm Groth

Ich möchte folgende Frage an Herrn Weizel richten: Sie sagen, daß die Zeronen ihre Existenz nur darin äußern, daß ihre Gleichungen wieder die der Quantentheorie und damit auch die Unbestimmtheitsrelation ergeben. Sie sagen außerdem, daß Sie sich vorstellen können, daß es noch eine große Zahl anderer Beschreibungsmöglichkeiten gibt, die ebenfalls zu den bekannten Formulierungen der Quantentheorie führen und das Unbestimmtheitsprinzip enthalten. Dann sind doch sowohl die Zeronen als auch alle anderen denkbaren Größen, die man statt ihrer einführen kann, nur ein anderer Ausdruck dafür, daß die Unbestimmtheitsrelation existiert. Sie dienen also nur als Rechengrößen, und mir scheint, daß alle diese Beschreibungsmethoden dem Akausalitätsprinzip nicht widersprechen und es nicht aus der Welt schaffen.

Professor Dr. Walter Weizel

Hier muß man zunächst einmal sagen, was man unter Kausalität und Akausalität im Einzelprozeß versteht. Niemand wundert sich darüber, wenn trotz statistisch ausgesprochener Gesetzmäßigkeiten im Einzelprozeß an den Einzelobjekten Verschiedenes erfolgt. Nehmen wir als Beispiel eine Sterblichkeitsstatistik an, in der ein Durchschnittsalter errechnet wird. Niemand wundert sich darüber, daß nicht alle Menschen bei dem gleichen Alter sterben, und niemand zweifelt daran, daß es für den Zeitpunkt des einzelnen Todesfalles immer einen Grund gibt, daß also der Einzelprozeß kausal bestimmt worden ist. Von der Quantentheorie weiß man schon lange, daß sie

ein statistisches Gesetz ist. Es schien aber bisher so zu sein, daß dieses statistische Gesetz nicht verträglich ist mit einer kausalen Interpretation des Einzelprozesses. Man hat verschiedene Versuche gemacht, eine kausale Interpretation der Einzelprozesse statistisch auszuwerten. Das führte aber bisher nicht zur Quantentheorie und v. Neumann hat bewiesen, daß es überhaupt unmöglich ist, zu einer Statistik zu kommen, die mit der Quantentheorie übereinstimmt, wenn die Ursachen für die Einzelprozesse im Innern der betrachteten Objekte liegen. In der Zeronentheorie ist der Einzelprozeß, der durchaus kausal verläuft oder verlaufen kann, die Wechselwirkung des Zeronen mit dem betreffenden Elektron. Ich habe ein Modell entwickelt für völlig kausale Einzelprozesse, die der klassischen Mechanik genügen, und habe gezeigt, daß bei statistischer Mittelung über alle diese Prozesse die Quantentheorie herauskommt. Es läßt sich auch auseinandersetzen, wie es zu den Unbestimmtheitsrelationen kommt. Das beruht einfach darauf, daß die Größen, die man gewöhnlich mißt, nicht die momentanen Geschwindigkeiten während der Zeronenwechselwirkung sind, sondern deren Mittelwerte. Für diese Mittelwerte gelten natürlich nicht die klassischen Gesetzmäßigkeiten, die sonst für die wirklichen Werte gelten, sondern Relationen, die die Heisenbergschen Ungenauigkeiten erfüllen. Daß die Ungenauigkeitsrelation bei den verschiedensten kausalen Vorgängen herauskommen kann, ist schon früher bekannt gewesen. Bei Wellenvorgängen ist die Heisenbergsche Ungenauigkeitsrelation eine Selbstverständlichkeit, sie bedeutet nur etwas anderes als in der Quantentheorie. Durch meine Überlegungen ergibt sich einfach, daß die Größen Ort und Geschwindigkeit, von denen in der Quantentheorie die Rede ist, nicht der wirkliche Ort und die wirkliche Geschwindigkeit sind, sondern Mittelwerte von mindestens einer dieser Größen. Zwischen Ort und dem Mittelwert der Geschwindigkeit ergeben sich dann natürlich nicht dieselben Beziehungen wie zwischen Ort und Geschwindigkeit selbst, sondern eben die Unschärferelationen.

Ich komme nun zu dem, was Herr Behnke gesagt hat. Von der Zeronentheorie darf man nicht verlangen, daß etwas herauskommt, was über die Quantentheorie hinausführt. Es ist absolut unzulässig, irgendein Modell zu konstruieren, aus dem über die Quantentheorie hinaus noch etwas weiteres folgt. Aus dem Modell muß die Quantentheorie und darf nur die Quantentheorie hervorgehen, denn die Quantentheorie ist sehr gut experimentell geprüft und es ist auch genügend gezeigt, daß es außer ihr nichts Prüfbares gibt. Wenn etwas anderes herauskäme, wäre das genügend Grund, das Zeronenmodell wegzuworfen und ein anderes zu suchen. So bin ich auch vor-

gegangen. Nicht beim ersten Griff bin ich auf dieses Modell gekommen, sondern ich mußte mein Modell mehrfach modifizieren. Es ist vielleicht noch interessant zu sagen, worin der Unterschied der Zeronenwechselwirkung gegenüber den Zusammenstößen mit einem Gas besteht. Wenn man die Zeronen wie ein unbekanntes Gas behandeln wollte, dann würde ein Elektron gelegentlich von einem Zeron gestoßen werden und dann würde eine Pause eintreten und wieder ein Stoß. Wenn man dieses Modell anwendet, kommt man nicht zur Quantentheorie. Man muß vielmehr ein Modell anwenden, bei dem das Elektron oder Elementarteilchen ununterbrochen gestört wird, so daß eine Störung die andere ablöst und die Bewegung also dauernd nicht so verlaufen kann, wie sie eigentlich möchte, weil sie immerfort irgendeiner Einwirkung unterliegt. Die statistische Betrachtungsweise ist dann etwas schwieriger durchzuführen als die Statistik der Stöße, aber sie gelangt merkwürdigerweise zur Quantentheorie. Da dieses Modell alles das gibt, was man experimentell finden kann, ist es nicht möglich, es darüber hinaus noch einmal extra zu prüfen. Wenn jemand dieses Modell im Jahre 1910 aufgestellt hätte und daraus merkwürdige Bewegungsgesetze, nämlich die Formeln der Quantentheorie, erschlossen hätte und wenn man später im Jahre 1925 gefunden hätte, wie es tatsächlich der Fall war, daß die atomare Physik diesen Formeln folgt, dann hätte man darin eine Bestätigung für die Richtigkeit des Zeronenmodells gesehen.

Auch der Umstand, den Herr Groth erwähnte, daß es möglicherweise mehrere Modelle gibt, die das gleiche leisten, ist keineswegs verwunderlich; ich habe den Zeronen, um statistisch rechnen zu können, gewisse Eigenschaften zugeschrieben, natürlich Eigenschaften, mit denen ich nicht in Widersprüche gerate. Vielleicht war es aber nicht nötig, den Zeronen alle diese Eigenschaften zuzuschreiben. Vielleicht hätten weniger Eigenschaften genügt. Das hätte aber vielleicht der statistischen Rechnung größere Schwierigkeiten gemacht. Es ist bei einer statistischen Rechnung immer am bequemsten, wenn man das betreffende Objekt möglichst konkret beschrieben hat, aber es kann sich hinterher zeigen, daß man viele Annahmen fallen lassen oder durch andere Annahmen ersetzen kann, ohne das statistische Ergebnis zu verändern. Insofern gibt es höchstwahrscheinlich eine ganze Menge von Modifikationen für das Zeronenmodell. Gewisse Grundzüge, sicherlich der Grundzug, daß eine dauernde Wechselwirkung stattfinden muß, müssen den Modellen allerdings gemeinsam sein.

Professor Dr. Heinrich Behnke

Die Bereitschaft, die neue Theorie der Zeronen gegebenenfalls – wenn nämlich die Konsequenzen es verlangen – zu modifizieren, ist eine charakteristische Haltung in der physikalischen Forschung. Am eindrucksvollsten war mir da immer, daß Einstein auch in der Zeit seiner größten Erfolge jederzeit beteuerte, er erwarte, daß seine Theorien auf Grund neuer physikalischer Einsichten eines Tages modifiziert werden müßten. – Ich erlaube mir, noch einmal auf meine Frage zurückzukommen, ob der Vortragende im strengen Sinne behauptet, daß seine Zeronentheorie physikalisch keine Konsequenzen hätte.

Professor Dr. Walter Weizel

Konsequenzen kann es nur in einem Gebiete geben, wo die Quantentheorie falsch ist.

Es besteht folgende Möglichkeit, ich wollte sie hier nur nicht erörtern, weil es zu weit führen würde: In dem ganzen Bereich, in dem die Quantentheorie richtig ist und mit den experimentellen Beobachtungen übereinstimmt, in diesem ganzen Bereich kann man die Richtigkeit der Zeronentheorie nicht prüfen, denn ihr Resultat ist identisch mit der Quantentheorie. Anders ist es in Gebieten, in denen die Quantentheorie versagt. In solchen Gebieten wäre es denkbar, daß man aus einem Zeronenmodell, welches dann aber noch ausgestaltet werden müßte, Folgerungen ableitet, die sich mit der Quantentheorie nicht decken. Dann könnte man prüfen, was richtig ist. In meinen Berechnungen ist es so, daß nur ein einziges Elementarteilchen unter der Einwirkung eines bestimmten Zeron steht, d. h. die Elementarteilchen sind ziemlich dispers angenommen. Sitzen sie aber in dicken Klumpen geballt aufeinander, dann wirkt dasselbe Zeron auf mehrere Elementarteilchen in gleicher oder ähnlicher Weise, weil sie so nahe benachbart sind. Das müßte sich vom Standpunkt des Beobachters, der nichts vom Zeron weiß, so interpretieren, daß zwischen diesen Elementarteilchen eine Wechselwirkung besteht, denn ihr Verhalten hängt irgendwie miteinander zusammen, zwar nicht direkt, aber auf dem Umwege des sie beeinflussenden Zeron. Unter Bedingungen, bei denen die Elementarteilchen dicht gepackt sind, könnte man versuchen, eine Mehrteilchenstatistik zu machen, was ja bekanntlich eine recht häßliche Angelegenheit ist. Vielleicht kommt aber irgend etwas heraus, was die Quantentheorie nicht enthält. Ich habe mir natürlich einige Hoffnungen gemacht, daß bei dieser Gelegenheit die Kernkräfte herauskommen, aber das muß natürlich alles erst untersucht werden. Zunächst habe

ich einmal aufgetatmet, als ich die Gleichungen der Quantentheorie gewonnen hatte. Vielleicht ist in Gebieten, wo die Quantentheorie versagt, noch etwas zu holen, aber das liegt in weitem Felde.

Professor Dr. Heinrich Behnke

Mit dem Aufzeigen dieser grundsätzlichen Möglichkeit bin ich zufrieden-gestellt.

Professor Dr. Emanuel Sperner

Mit Rücksicht auf die vorhergegangenen Erörterungen ist vielleicht noch eine Bemerkung über das Wesen eines mathematischen Unmöglichkeitsbeweises erwünscht. Ein solcher Beweis liefert immer nur eine Aussage der Art, daß mit bestimmten vorgeschriebenen Hilfsmitteln ein mathematisch genau definiertes Ziel nicht erreichbar ist, z. B. eine Konstruktion nicht ausführbar oder eine bestimmte Behauptung mit den vorliegenden Voraussetzungen nicht vereinbar ist. Wenn man aber gestattet, die Voraussetzungen abzuändern oder durch andere zu ersetzen, so kann dadurch das fragliche Ziel erreichbar werden. Ein solcher Schritt ist nun auch mit der Theorie von Herrn Weizel vollzogen. Während mit den bisher in der Quantentheorie gemachten Voraussetzungen die Annahme eines kausal bestimmten Ablaufes atomarer Vorgänge nicht verträglich war, hat Herr Weizel eine neue Modellvorstellung für das atomare Geschehen entwickelt, auf Grund deren eine kausale Interpretation der Quantentheorie möglich wird. Das ist die Rolle und Aufgabe der Zeronen. Es erhebt sich natürlich die Frage, was wir uns darunter vorstellen dürfen, d. h. welchen bekannten Objekten oder gewohnten Vorstellungen die Zeronen gemäß den ihnen abverlangten Eigenschaften am nächsten kommen würden?

Professor Dr. Walter Weizel

Was ich jetzt sage, ist rein spekulativ, denn das einzige, was gesichert ist, ist eben, daß aus dem Zeronenmodell sich die Gleichung der Quantentheorie ableiten läßt. Man kann sich aber über verschiedene merkwürdige Dinge Gedanken machen. Die Elementarteilchen, also z. B. ein Elektron, führen unter der dauernden Einwirkung der Störungen durch die Zeronen eine Zitterbewegung aus, die sich ihrer mechanischen Bahn überlagert. Man kann mit der Geschwindigkeit dieser Zitterbewegung die Plancksche Konstante in Verbindung bringen. Daran kann man folgende Spekulationen

anknüpfen, die jedoch außerordentlich frech sind. Man kann das mittlere Geschwindigkeitsquadrat der Zitterbewegung stets gleich dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit setzen. Die Relativitätstheorie wird dann als eine Theorie makroskopischer Körper betrachtet, und die Lichtgeschwindigkeit ist keine obere Grenze der Geschwindigkeit während der Zeronenwechselwirkung. Die Masse der Elementarteilchen ist dann nichts anderes als die Energie ihrer Zitterbewegung. Das ist immerhin ein ganz lustiges Ergebnis. Es wäre also im Grunde gar nicht nötig, daß es Elementarteilchen gibt, sie wären nur irgendwo lokalisierte Anhäufungen der Zitterbewegung der Zeronen. Diese und andere Spekulationen werden wahrscheinlich ins Auge gehen, aber es gibt doch eine ganze Menge merkwürdiger Ansatzpunkte. Wir haben aber noch einen anderen Gedanken verfolgt. Die Zeronenstörung zunächst einmal durch die mittlere Geschwindigkeit zu beschreiben, die das Elementarteilchen während der Störung hat, ist sicherlich nur eine erste Näherung. Die wirkliche Bewegung wird dabei durch ein gradliniges Stück ersetzt, und in dieser Näherung bringt die Zeronenwirkung zusätzlich eine Verschiebung des Teilchens außer der Bewegung hervor, die im äußeren Kraftfeld erfolgt. Natürlich wird aber während der Störung im allgemeinen eine krumme Bahn durchlaufen. Als zweite Näherung kann man die Bahn als einen Kreisbogen betrachten. Dies führt zu einem höchst merkwürdigen Resultat. Man erhält dann nämlich in der Teilchenbilanz auch den vom Spin herrührenden Anteil. Dagegen ist es mir noch nicht gelungen, auch den Spinanteil in der Impulsbilanz richtig zu erhalten. Diese Untersuchung ist eben noch nicht fertig, und man kann vorher nie wissen, ob solche Ideen sich als brauchbar erweisen. 99 % von allen Gedanken, die man zunächst für gut hält, erweisen sich als schlecht, und es gibt nur eine sehr enge Passage durch das Gestrüpp der quantentheoretischen Formeln und der experimentellen Bedingungen.

Professor Dr. Rolf Danneel

Ich wüßte gerne, ob Sie irgend eine physikalische Vorstellung davon haben, wie ein Außeneinfluß, der energetisch an dem Atom gar nichts ändert, das Atom dazu disponieren kann, zu zerfallen oder nicht zu zerfallen.

Professor Dr. Walter Weizel

Ich sagte in meinem Vortrag, daß die Beispiele, die man leicht geben kann, also z. B. das Radiumatom, schlechte Beispiele sind. Sie sind deswegen schlechte Beispiele, weil in diesen Fällen auch die Quantentheorie nicht genau

weiß, was genau vor sich geht. Das Beispiel des Elektrons in verschiedenen Zuständen ist viel klarer. Da hat man eine saubere und klare Beschreibung der Quantentheorie und weiß, was im einzelnen passiert. Bei dem Radiumatom, das aus über 200 Protonen und Neutronen besteht, ist der Zerfallsvorgang unübersichtlich. Dagegen kann man sich leicht vorstellen, wie ein Zeron das Radiumatom zum Zerreißen bringt. Seine Wirkung besteht ja darin, daß es eines der Teilchen, z. B. ein α -Teilchen, ein Stück weit verschiebt, so daß es nachher draußen ist. Dann ist alles geschehen. Das ist, glaube ich, der Prozeß, der sehr anschaulich ist. Er ist aber nicht durchrechenbar, weil ja die Zeronentheorie auf die Quantentheorie führt, und dieses System von 230 Teilchen läßt sich auch mit der Quantentheorie schlecht durchrechnen. Deswegen ist dieses Beispiel schlecht.

Professor Dr. Rolf Danneel

Dann habe ich noch eine zweite Frage: Wenn Sie einen völlig gleichförmigen, undifferenzierten Strom von Zeronen einwirken lassen, dann verlegen Sie doch das Problem einfach um eine Etappe zurück, denn etwas Undifferenziertes kann ja nicht etwas Differenziertes hervorrufen. Wenn 10 Segelschiffe auf einem See fahren und davon bei einem Wind von bestimmter Stärke immer 5 umfallen, dann muß doch die Ursache in diesen 5 Schiffen liegen, wenn der Wind überall völlig gleichmäßig weht.

Professor Dr. Walter Weizel

Nein, physikalisch gesprochen haben die Zeronen den Charakter eines Mikrofeldes. Dieses Feld ist nicht völlig undifferenziert, nicht völlig kontinuierlich, sondern durchsetzt mit zahlreichen Diskontinuitäten, die sich aber im statistischen Mittel gleichmäßig im Raum und über die Richtungen verteilen. Ich will einmal ein ganz primitives mechanisches Bild davon geben. Nehmen Sie an, wir haben einen sehr großen Billardtisch. Dieser Billardtisch ist aber boshafterweise nicht eben konstruiert worden, wie die Billardtische gewöhnlich sind, sondern ein gehässiger Konstrukteur hat eine Menge von Maulwurfshügeln darauf unregelmäßig verteilt, aber doch so, daß über größere Flächen im Mittel überall gleich viele Maulwurfshügel verteilt sind. Nun fange ich an, auf diesem Billardtisch Billard zu spielen. Es ist ganz sicher, daß das nicht genau so vor sich geht, wie wenn die Maulwurfshügel nicht da sind. Jeder Maulwurfshügel, über den die Billardkugel rollen muß, lenkt sie irgendwie ab. Trotzdem wird sich im statistischen

Mittel etwas ergeben, was sehr großen Kugeln nicht viel ausmacht. Große Kugeln werden nur sehr wenig abgelenkt, im großen und ganzen werden sie in ihrer Richtung bleiben. Dies entspricht ganz genau dem Sachverhalt: je schwerer und größer die Masse der Körper ist, desto geringer ist der Unterschied von Quantentheorie und klassischer Mechanik. Im einzelnen wird man nun eine Statistik darüber aufstellen können, was auf dem Billardtisch passiert. Solange der Tisch horizontal steht, tritt einfach eine Gaußsche Streuung ein. Wenn ich jetzt den Billardtisch schief stelle, dann kann ich versuchen, eine Statistik über die Bewegungen von Billardkugeln auf einer schiefen Ebene mit Maulwurfshaufen zu machen. Solch eine Statistik habe ich gemacht, nur, daß die Maulwurfshaufen auch noch beweglich sind und daß sie etwas andere mechanische Eigenschaften haben als schön kegelförmige Maulwurfshaufen. Jedenfalls kann man für Bewegungen in einem Mikrofelde eine Statistik aufstellen. Selbstverständlich kann man niemals aus ihr voraussagen, was im Einzelfalle passiert. Das verhindern die Ungenauigkeitsrelationen. Wenn nämlich die Maulwurfshaufen in einer Bewegung sind, die ich nicht einzeln kenne, dann gibt das irgendwelche Unsicherheiten.

Professor Dr. Oskar Löbl

Neben der Beseitigung der doch etwas fatalen Akausalität scheint es mir doch ein großer Vorzug der Zeronentheorie zu sein, daß die Vorgänge anschaulicher geworden sind.

Professor Dr. Walter Weizel

Anschaulichkeit ist eine Geschmacksfrage. Ich war immer der Meinung, daß die Quantentheorie anschaulicher ist als die alte Bohrsche Theorie. Für mich war die Vorstellung anschaulich, daß ich ein Zentrum habe, um das ein Elektron kreist, wie bei Wasserstoff. Zwei Elektronen, die um ein Zentrum kreisen, das ist für mich schon sehr viel weniger anschaulich. Soll man gleichzeitig zwei Körper, die sich irgendwie auf verschiedenen Ellipsen bewegen, verfolgen, dann hört die Anschaulichkeit auf. Bei schweren Atomen, wo viele Elektronen auf Ellipsenbahnen um den Kern wimmeln, ist das Bild sehr unanschaulich, wenigstens für mich. Die Quantentheorie gibt eine Dichteverteilung der ganzen Elektronenwolke an. Das kann ich mir gut vorstellen oder graphisch darstellen. Es ist für meinen Geschmack außerordentlich anschaulich. Ich habe deshalb immer das Gefühl gehabt, die

Quantentheorie ist besonders anschaulich: sie macht zwar ein Bild, welches nicht den ganzen Sachverhalt erschöpft, aber doch eine Anschauung von dem gibt, was sie aussagt. Anschaulichkeit ist schwer zu fassen, es ist eine Frage der Gewohnheit und des Geschmacks. Man kann sich daran gewöhnen, Dinge anschaulich zu finden, die zunächst ganz unanschaulich sind. Es gibt Mathematiker, denen vieldimensionale Räume genau so anschaulich sind wie der dreidimensionale, und es gibt viele Menschen, die sicherlich keine natürliche Anschauung vom Dreidimensionalen haben, sondern bei denen die Anschauung stets zweidimensional ist.

Professor Dr. Oskar Löbl

Nun, wenn man ein Modell angeben kann, in dem die Nullteilchen andauernd andere Teilchen stoßen und hierbei den klassischen Gesetzen gehorchen, so darf man schon von einer gewissen Anschaulichkeit sprechen. Da aber das Wort „anschaulich“ in der heutigen Physik etwas in Mißkredit geraten ist, will ich mich so ausdrücken, daß die Vorgänge nun „verständlicher“ geworden sind.

Professor Dr. Burckhardt Helferich

Ich möchte noch folgendes fragen: Sie haben mit Hilfe dieser Zeronen zunächst die Schwierigkeit „kausal — akausal“ aus dem Gebiet der Elementarteilchen ausgeräumt. Ist die Möglichkeit oder besteht die Gefahr, daß sie sich nachher in der Existenz der Zeronen wiederfindet?

Professor Dr. Walter Weizel

Selbstverständlich, das ist immer so.

Professor Dr. Burckhardt Helferich

Ja, dann ist aber nichts Grundsätzliches gewonnen. Die ganze Frage Akausalität — Kausalität: kann sie oder wird sie vielleicht in dem Gebiet der Zeronen wieder auftauchen?

Professor Dr. Walter Weizel

Möglich ist es schon, daß man bei den Zeronen selbst wieder auf dieselben Schwierigkeiten kommt. Das setzt voraus, daß man Mittel findet, mit den Zeronen zu experimentieren, und daß Gesetzmäßigkeiten an ihnen

gefunden werden, die unter gleichen Bedingungen mehrere verschiedene Schicksale, nur diesmal der Zeronen, zulassen. Möglich ist das natürlich. Aber ich weiß nicht, ob ein Anlaß besteht, diese Möglichkeit im Augenblick zu ventilieren. Im Moment gibt es überhaupt keine Möglichkeiten, mit den Zeronen zu experimentieren. Selbst wenn man eines Tages eine solche Möglichkeit haben wird, dann weiß man doch jetzt nicht, was bei diesem Experimentieren herauskommt. Vielleicht kommen ganz klare kausale Gesetze heraus, und dann ist alles in Ordnung. Da man aber weder weiß, ob man experimentieren kann, noch weiß, was, wenn man es kann, bei den Experimenten herauskommt, glaube ich, daß man sich um diese Frage im Augenblick noch keine Sorge zu machen braucht.

Professor Dr. Eugen Flegler

Wenn ich Sie richtig verstanden habe, so gehen Sie bei Ihren Überlegungen davon aus, daß wir bei vielen atomaren Vorgängen nicht die Möglichkeit haben, den zeitlichen Ablauf eines Vorganges bei dem einzelnen Atom, z. B. die Dauer seines Anregungszustandes oder den Zeitpunkt des Zerfalls eines einzelnen radioaktiven Atoms, aus Ursachen zu erklären, die in dem betreffenden Atom allein liegen. Sie führen deshalb mit Ihren Zeronen eine neue Modellvorstellung ein, mit deren Hilfe die bestehenden Schwierigkeiten beseitigt werden sollen. Aber es ist doch wohl so, daß nicht schon durch das Vorhandensein der Zeronen an sich die atomaren Vorgänge erklärt werden können, sondern es müssen offensichtlich noch bestimmte Voraussetzungen über die Gesetzmäßigkeit der Wechselwirkungen zwischen Zeronen und Atomen getroffen werden.

Professor Dr. Walter Weizel

Ich gehe davon aus: Es muß irgend eine Ursache haben, daß unter sonst erkennbaren gleichen äußeren Umständen die Elementarteilchen ein verschiedenes Schicksal erleiden können. Da diese Ursache nicht in den Teilchen liegen kann, muß sie außerhalb der Teilchen liegen. Da äußere Ursachen bisher nicht gefunden worden sind, kann es sich nur um Ursachen handeln, die man bisher nicht kennt, also um irgendwelche Objekte, die noch unbekannt sind. Diese Objekte sollen nun auf die Elementarteilchen, wenn sie ihnen nahe kommen, Kräfte ausüben nach streng kausalen Gesetzen, nämlich nach dem Gesetz $\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung}$. Ich stelle nun fest, daß, wenn diese Zeronen die Elementarteilchen mit Lichtgeschwindigkeit

überrollen, wenn ein irgendwie geartetes Anziehungs- oder Abstoßungsgesetz gilt, wenn drittens diese Einwirkungen pausenlos erfolgen, daß dann eine Statistik über diese Einwirkungen zu den Gesetzen der Quantentheorie führt. Ich bekomme also auf Grund dieses Modelles alle die Verhaltensmöglichkeiten, die man auch bisher mit der Quantentheorie beschreiben konnte und die sich mit den experimentellen Beobachtungen in Übereinstimmung befinden. Ich bekomme natürlich durch die Statistik nicht heraus, was nun ein ganz bestimmtes mit Namen versehenes Elektron in einem ganz bestimmten Falle gemacht hat. Das bekomme ich ebensowenig heraus, wie ich bei der statistischen Theorie der Thermodynamik herausbekommen kann, was ein ganz bestimmtes Atom bei einem Stoß mit einem anderen gemacht hat. Es besteht allerdings auch kein grundsätzliches Hindernis, den Einzelprozeß zu berechnen, wenn man alle Voraussetzungen hat. Da müßte man ansetzen, wie zentral der Stoß gewesen ist, aus welcher Richtung er erfolgte, in welchem Anfangszustand sich das Zeron und das Elektron befanden, und daraus würde sich dann ein Endergebnis ergeben. Es besteht darin, daß sich das betreffende Elementarteilchen um ein Stück weiter, und zwar in der Richtung der Bewegung des Zeron, bewegt hat, als es ohne diese Einwirkung getan hätte. Aber da im Einzelversuch weder dies noch etwas anderes festgestellt wird, sondern die Versuche in der Regel statistischer Natur sind, besteht an dieser Aussage wenig Interesse. Hin und wieder, wie im Falle der Radioaktivität, ist das Ergebnis anschaulich. Wenn das α -Teilchen aus dem Atom herausgerissen wird, ist es eben draußen.

Professor Dr. Eugen Flegler

Ich glaube schon, Ihre Ausführungen richtig verstanden zu haben und mit Ihnen darin übereinzustimmen, daß sich aus der angenommenen Gesetzmäßigkeit der Wechselwirkungen zwischen Zeronen und Atomen unmittelbar die experimentell gefundenen Abhängigkeiten atomarer Vorgänge ergeben.

Professor Dr. Walter Weizel

Es muß noch hinzukommen, daß es keine Perioden gibt, wo nichts passiert. Wir wollen vielleicht zwei mechanische Beispiele nehmen; daran wird sofort klar, worin der Unterschied besteht. Ich habe irgend einen Körper, der sich bewegt. Im einen Fall, und das ist das falsche Bild, wird der Körper beschossen und gelegentlich getroffen. Der Schuß bewirkt, daß der Körper einfach um ein Stück versetzt wird. Das richtige Bild

sieht folgendermaßen aus: Der Körper schwimmt in einem Hafen, aber es herrscht Sturm, so daß eine Masse von Wellenzügen in allen möglichen Richtungen geht. Immerfort ist das Wasser nicht eben, sondern es platscht irgendwie herum. Im statistischen Mittel ist aber keine Richtung ausgezeichnet. Eine starke Wechselwirkung löst die andere ohne Pause ab. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß keine Pausen da sind. Die Störung ist nicht kontinuierlich, sondern eine starke Wechselwirkung, die nach einem klaren Gesetz abläuft, wird unterbrochen durch eine andere Wechselwirkung, die nach einem anderen Gesetz abläuft. Das ist das Quantenhafte: ein relativ plötzlicher Wechsel der einzelnen Zitterbewegungen. Das Quantenhafte ist also ein Element der Unordnung.