

DIE ENTDECKUNG DES OMEGAMINUS-HYPERONS*

(DIE NATURPHILOSOPHISCHE BEDEUTUNG EINER EINHEITLICHEN FELDTHEORIE DER ELEMENTARTEILCHEN*)

Der bekannte „acht-fähige Weg“ („eight-fold way“) - der Name erinnert an alte indische oder chinesische Philosophie -, welcher die Zusammenfassung einiger Oktett-Familien sowohl im Bosonen- wie im Fermionen-Bereich erlaubt hatte, wurde von den Autoren Gell-Mann und Ne'eman in den Jahren 1961 und 1962 zu einer zehn-dimensionalen Darstellung erweitert, der ein Dekuplett von Elementarteilchen entsprechen sollte. Den Ausgang bildet eine mathematische Struktur, eine spezielle unitäre Gruppe, SU_3 genannt. Natürlich können wir hier nicht auf den mathematischen Formalismus¹ eingehen; wir wollen nur an einige Symmetrien erinnern, die interessant sind zur Beleuchtung des philosophisch-erkenntnistheoretischen Problems der Konvergenz zwischen Theorie und Praxis, Mathematik und Experiment.

Die Entdeckung des vorausgesagten Teilchens gelang vor etwas mehr als vier Jahren einer Gruppe von 33 Physikern in den USA, im Brookhaven National Laboratory, mit Hilfe eines Teilchen-Beschleunigers (Protonen-Synchrotron) mit einer Energie-Kapazität von 30 000 000 000 Elektron-Volt. Nicht nur die obenstehenden Quantenzahlen, sondern auch der Ruhmassenwert des neuen Elementarteilchens — heute, „Omega-Hyperon“ genannt — stimmen nach Theorie und Experiment genau überein. Die Werte sind, in Millionen-Elektron-Volt-Einheiten gemessen: Quatruplett Delta: 1238; Triplet Sigma: 1385; Dublett Xi: 1532; Singulett Omega (das neue Teilchen): 1679. Die Differenz zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Massenwerten ist 147, wie in der Okubo-Theorie vorausgesagt².

Die Auffindung des Omega-minus-Hyperons war der bisher grösste Erfolg der sogenannten „phänomenologischen“ Theorie der Elementarteilchen-Symmetrien, in einer überraschenden Übereinstimmung zwischen theoretischer Voraussage und experimenteller Bestätigung. Darüber hinaus, ist das Omega-minus das erste Elementarteilchen mit einer „Strangeness“-Quantenzahl kleiner als -2, das wir kennen. Trotz allem, dürfen wir einige wesentliche Punkte einer ernsten Kritik an den Grundlagen der „phänomenologischen“ Theorie — besser wäre die Bezeichnung „empirische“ Theorie, um eine Verwechslung mit

* XIV Internationaler Kongress für Philosophie – Wien 1968. Vortrag: Section VII: Naturphilosophie. Publiziert in Kongress-Akten IV, S. 385-395.

¹ Zur Orientierung: H. P. Dürr: Physik. Blätter, 21 (1965), 406-420.

² S. Okubo: Progr. Theoret. Phys. (Kyoto, Japan) 27 (1962), 494.

Husserls phänomenologischer Philosophie zu vermeiden — nicht übersehen, um Heisenbergs „einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen“ verstehen zu können.

2. Heisenberg selbst hat seine Kritik an den Teil-Theorien wie folgt zusammengefasst: „Der Ausdruck ‚phänomenologische Theorie‘ wird in der folgenden Übersicht für jede Theorie benutzt werden, die versucht, die empirischen Daten in ihrem Zusammenhang theoretisch zu verstehen, ohne ausdrücklich ein zugrunde liegendes Naturgesetz zu formulieren. Theorien dieser Art können zu sehr nützlichen Darstellungen der beobachteten Phänomene führen, und sie können später, wenn die endgültige Theorie gefunden ist, häufig als das Ergebnis einer gewissen Approximationsmethode erscheinen, die man auf die vollständige Theorie angewendet hat. Als ein bekanntes historisches Beispiel erwähnen wir die Darstellung der Planetenbahnen durch Zyklen und Epizyklen in der Astronomie des Ptolemäus. Die Zyklen und Epizyklen konnten später als die ersten Glieder einer Fourier-Darstellung der wahren Newton'schen Bahn aufgefasst werden“³.

Hinzu kommt noch, dass die empirischen Theorien lediglich den Korpuskel-Charakter der Teilchen berücksichtigen, wie dieser sich bei lokal konzentrierten Wechselwirkungsprozessen äussert, nicht aber den dazu komplementären „Wellen-Aspekt“ der Übergangswahrscheinlichkeiten, wie sie Heisenbergs Matrizen-Mechanik und die zu dieser mathematisch isomorphe, d. h. strukturgleiche Wellen-Mechanik Erwin Schrödingers⁴ beschreibt. Heisenbergs neue einheitliche Feldtheorie wird der berühmten Einstein-Broglieschen „Doppelnatur“ von Licht und Materie gerecht: Trotz der hochkomplizierten Form seiner fundamentalen nicht-linearen Spinor-Feldgleichung ist deren formale Verwandtschaft zu der einfachen Wellengleichung Schrödingers, auf dem Weg über die Kernfeldgleichung Hideki Yukawas, leicht festzustellen.

Heisenbergs „Schlussbemerkungen“⁵ beginnen mit dem Satz: „Die in dem vorliegenden Buch dargestellte einheitliche Feldtheorie kann als ein Versuch betrachtet werden, das Naturgesetz zu formulieren, das hinter dem komplizierten Spektrum der Elementarteilchen, ihren Wechselwirkungen und Symmetrien und hinter den in den bekannten phänomenologischen Theorien dargestellten Beziehungen steckt.“

3. Die soeben zitierte Selbstbetrachtung Heisenbergs gibt uns genügenden Anhalt, um die naturphilosophische Bedeutung seiner einheitlichen Feldtheorie der Elementarteilchen ins Auge zu fassen.

³ W. Heisenberg: Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen, Stuttgart 1967, S. 125.

⁴ Geboren 12. August 1887 als Sohn einer alten Wiener Gelehrtenfamilie; † 4. Januar 1961.

⁵ *Einführung in die einheitliche Feldtheorie ...*, S. 135.

3. 1. Der am meisten auffallende Grundzug ist zweifellos der immanente und unabweisbare Drang des Geistes zur Vereinheitlichung, zur Rückführung des Mannigfaltigen und Vielfältigen auf eine innere Einheit, auf ein einziges Grundprinzip.

Bei Heisenberg ist es aber etwas anderes als mit dem einen Grundstoff der ionisch-miletischen Naturphilosophen des sechsten Jahrhunderts vor Christus (Thales' Wasser, Anaximenes' Luft). Am nächsten dürfte der modernen Auffassung noch das „Apeiron“, das Unbegrenzte, Unfassbare, Unerfahrbare des Anaximander nahekommen, das kein Geringerer als Heisenbergs Lehrer in Göttingen, Max Born, mit der heutigen Elementar-Physik in Zusammenhang gebracht hat. Es ist auch nicht das eine, ungeteilte und unteilbare, zeitlose „Sein“ oder „Seiende“ des Parmenides, und noch viel weniger die in unzählige Teile zersplitterte, rein materielle Einheit der Atome des Leukippos und Demokritos, denn bei diesen fehlt gerade die formale Einheit des bestimmenden Gesetzes, auf die es in der modernen Physik ankommt. Viel näher steht der Konzeption Heisenbergs die uralte Schule des Pythagoras, dessen Lehre Aristoteles in dem Satz zusammengefasst hat: „Das ganze Universum ist Harmonie und Zahl“⁶. Am meisten geistige Verwandtschaft aber finden wir in Platons „Timaios“, in dem Bericht über die Zusammensetzung der vier empedokleischen Elemente aus unsichtbar kleinen regulären Polyedern: Feuer besteht aus Tetraedern, Luft aus Oktaedern, Wasser aus Ikosaedern und Erde aus Kuben; der fünfte aller möglichen regelmässigen Körper, der Dodekaeder, wird dem Weltganzen als „Bildschmuck“ zugeteilt⁷. Das formal Gemeinsame des Gedankenganges sehe ich vor allem in drei Berührungspunkten: Erstens: Der Ausgang von einfachen Struktur-Elementen; bei Platon sind es gleichseitige und gleichschenkelig-rechtwinkelige Dreiecke, bei Heisenberg die unitäre S-Matrix, welche die Beziehung zwischen Anfangs- und Endzustand in einem elementaren Streuprozess darstellt, sowie die Feld-Operatoren, welche als Erzeugungs- und Vernichtungs-Operatoren für „Materie“ im allgemeinen interpretiert werden können (Fritz Bopp, Werner Heisenberg⁸). Zweitens: Die Voraussetzung eines vorgegebenen, mathematisch formulierbaren Naturgesetzes. Bei Platon die apriorisch feststehende Ordnung, dass es fünf und nur fünf regelmässige Körper gibt. Für Heisenberg „scheint es nur eine einfache Gleichung zu geben, die möglicherweise das beobachtete Elementarteilchenspektrum darstellen kann“⁹. Drittens: Die Ableitung der Erscheinungswelt aus dem einen und nur einen mathematischen Gesetz: Bei Platon die Zuordnung der fünf regulären Vielecke zu

⁶ Arist. *Metaph.* A 5, 985 b 23 ff.; Diels-Kranz 8 1951, I, S. 452, Z. 9.

⁷ Platon, *Timaios* 53 A - 57 C. Vgl. 55 B: „Da es aber noch eine fünfte Art der Zusammensetzung von entsprechender Eigenschaft gibt, so bediente sich Gott dieser viel-mehr für das Weltganze, als er diesem seinen Bilderschmuck gab.“ Übersetzung von Franz Susemihl, Verlag Lambert Schneider, Heidelberg, o. J., S. 141, Z. 11-14.

⁸ W. Heisenberg: *Einführung in die einh. Feldth.*, 2-2, 2-3. S. 14, S. 18.

⁹ *Ibidem*, 3-1. S. 27.

den Welt-Elementen und zum Weltganzen (natürlich materiell falsch vom modernen Standpunkt aus; aber es geht uns ja hier nur um die formalen Ähnlichkeiten des Gedankengangs, die „natur-philosophisch“ ins Gewicht fallen). Heisenberg schreibt: „Die bei den Vorgängen an Elementarteilchen beobachteten Erhaltungssätze scheinen durch die Invarianz-Eigenschaften eben dieser Gleichung richtig dargestellt zu werden“¹⁰.

3. 2. Gegenüber den dargelegten ideellen Verwandtschaften, bildet einen fundamentalen Unterschied in der Einstellung der antiken und der modernen Physik und Naturphilosophie die Wertschätzung der rational gelenkten Erfahrung, des Experiments. Während aus Platons Theorie — die natürlich, vom Standpunkt der heutigen Naturwissenschaften her betrachtet, reine Phantasie ist — gar keine Berechnung und Voraussage zukünftiger Naturgeschehnisse folgt, hat sich Heisenberg gerade dies zum Ziel gesetzt: „Das eine universelle Gesetz müsste alle möglichen Phänomene umfassen“¹¹. Aus der sich gegenseitig befruchtenden Spannung und Wechselwirkung zwischen vorausseilender geistiger Intuition — der Hypothese — und zielbewusst gerichteter Empirie — dem Experiment — ist ja gerade die moderne Wissenschaft entstanden. Das erkenntnistheoretisch-philosophisch Interessante dabei ist, dass in einem gewissen Reifzustand der Forschung nicht mehr die Vernunft die Erfahrung überlagert (Autonomie der Idee und des Logos: Platon), noch die Erfahrung das Mass-gebende ist (phänomenologisch-empirische Symmetrien der Elementarteilchen), sondern dass die beiden gewissermassen subjektiv-dialektisch gegenüberstehenden Pole, nämlich die Autonomie der Idee und die Heteronomie der Erfahrung, ihre komplementäre Ergänzung, Erfüllung und Überhöhung finden in der Ontologie, Ontonomie oder genauer Orthonomie (Franz Brentano) der wahren Wirklichkeit. Diesem -- vielleicht asymptotisch unerreichbaren — Endziel strebt Heisenbergs Ansatz entgegen. Während er in den letzten 15 Jahren noch mehrmals nach neuen Erfahrungstatsachen sich korrigieren musste (z. B. 1956 nach der Entdeckung der Nicht-Erhaltung der Parität in schwachen Wechselwirkungen, durch die chinesischen Physiker Tsung Dao Lee und Chen Ning Yang), glauben wir, dass heute eine Vervollkommnung, eine „Orthonomie“ erreicht ist, die weit mehr erlaubt, neue Elementarteilchen-Familien und ihre Eigenschaften nach dem universalen Gesetz vorauszusagen, als dieses Modifikationen befürchten müsste auf Grund von neuen experimentellen Entdeckungen.

3. 3. Heisenbergs einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen ist schliesslich, ontologisch-philosophisch betrachtet, eine durchaus realistische Auffassung des

¹⁰ W. Heisenberg: „Die Entwicklung der einheitlichen Feldtheorie der Elementarteilchen“, in: *Die Naturwissenschaften* (1963), S. 3.

¹¹ W. Heisenberg: *Einführung in die einh. Feldth.*, S. 136, Z. 37.

Grundgesetzes der physikalischen Wirklichkeit. Einige wenige Zitate können das zur Genüge belegen: „Alle Teilchen sind gewissermassen nur Formen einer Grundsubstanz, die man Materie oder Energie nennen kann. Die Energie wird zur Materie, indem sie sich in die Form eines Elementarteilchens begibt. Diese Formen müssen durch ein einheitliches Naturgesetz bestimmt sein, sich aus ihm herleiten lassen. Die Elementarteilchen sind also stationäre Zustände eines physikalischen Systems „Materie“ ...¹². „Wenn die verschiedenen Elementarteilchen als verschiedene Formen der fundamentalen Substanz ‚Energie` oder ‚Materie` auf-gefasst werden, so sollte man doch darauf achten, dass sie häufig nur sehr vergängliche Formen mit äusserst kurzer Lebensdauer sind ... Alle Obergänge sollten möglich sein. Der Ausdruck ‚Elementarteilchen` wird ganz allgemein für irgendeine dieser Formen benützt werden, unabhängig von ihrer speziellen Stabilität“¹³. Es liegt nahe, hier an den Begriff „Energie-Strukturen“ oder „strukturierte Energien“ zu denken (den Hinweis verdanke ich dem Physiko-Chemiker Hans Georg Grimm); denn Energie — und darum auch „Materie“ — ist ja kein absoluter Bestand, sondern vom Potentialniveau, von der „Wertigkeit“, von der „Strukturiertheit“ abhängig. Heisenberg selbst hat das in einem für sein Denken und Arbeiten sehr charakteristischen Satz ausgedrückt: „Man erkennt hier auch, dass mit der Feststellung des einen Grundstoffs nur wenig gewonnen ist und dass vielmehr der ganze Reichtum erst in den Formen steckt“¹⁴.

3. 4. Schliesslich ist es interessant zu bemerken, wie die Elementarteilchen-Physik — zweifellos das hervorragendste Faktum der physikalischen Forschung in der zweiten Hälfte des XX. Jahrhunderts -- die uralten wissenschaftlich-philosophischen Aporien und Antinomien zu überwinden trachtet, die von Zenon von Elea (ca. 490-430 vor Chr.)¹⁵ bis zu Kants „transzendentaler Dialektik“ reichen¹⁶. Es handelt sich um die berühmte angebliche „innere Unendlichkeit“ einer unbegrenzten Teilbarkeit „nach innen hinein“, oder mit anderen Worten, um das Problem „Kontinuum-Diskontinuum“. Mathematisch wurde das Problem bereits im vergangenen Jahrhundert gelöst durch das Konvergenz-Kriterium von Augustin Louis Cauchy und die Definition der Irrationalzahlen von Richard Dedekind („Dedekindscher Schnitt“). Den physikalischen Aspekt zu klären, bleibt unserer Generation vorbehalten.

¹² W. Heisenberg: „Die Entwicklung der einheitlichen Feldtheorie der Elementarteilchen“, in: „Die Naturwissenschaften“ (1963), S. 3.

¹³ W. Heisenberg: Einführung in die einh. Feldth., S. 3, Z. 17—20 und 36—39.

¹⁴ W. Heisenberg: *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 8. Aufl. Stuttgart 1949, S. 97, Z. 32—34.

¹⁵ Vgl. Aristoteles, *De Gener. et Corr.*, 316 a 14-34, 325 a 8-12, sowie Simplicius, in *Phys.* 139, 24—140, 26.

¹⁶ Kant, *Kr. d. r. V.*, A 434-437, B 462-465; Insel-Ausg. II, 420-423. („Der Antinomie der reinen Vernunft zweiter Widerstreit der transzendentalen Ideen“.)

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, dem physikalischen Problem einer „unbegrenzten Teilbarkeit“ näherzukommen. Ich möchte diese beiden Möglichkeiten mit den Namen „innere Strukturierung“ und „äussere Strukturierung“ bezeichnen. Der erste Weg der Annahme einer inneren Strukturierung ist der zumeist in der Geschichte des Geistes beschrittene, seitdem Anaxagoras vor nunmehr 24 Jahrhunderten mit seinem Gedanken der „Homoiomerien“ das Prinzip aufgestellt hat¹⁷, welches kaum ein Jahrhundert später Platon im „Timaios“ in eine mythische Form eingekleidet hat¹⁸. Auf den Spuren der Annahme einer inneren Struktur der Nukleonen, welche der Nobelpreisträger für Physik 1961 Robert Hofstadter auf Grund seiner experimentellen Untersuchungen in Stanford (Californien) vorgeschlagen hatte, haben vor drei Jahren die russischen Physiker M. E. Omeljanowski und G. B. Rumer eine Theorie der „Teilchenskala ohne Begrenzung“ ausgearbeitet. Leider fehlt uns hier Raum und Zeit, auf diese ausgezeichnete Arbeit mehr als mit der Anregung, sie zu studieren, einzugehen¹⁹.

Im Grunde sind sich die Physiker heute einig über die Grundcharaktere der Mikrowelt. Omeljanowski-Rumer schreiben hierzu: „Die Frage nach dem Elementaren und Komplizierten, die gestellt werden kann bezüglich Elektronen, Protonen, Mesonen und anderen Elementarteilchen, besitzt nicht mehr jenen Sinn, den sie in der alten Atomistik besass. Die Begriffe elementar und kompliziert verlieren in der Mikrowelt ihren abstrakt-unveränderlichen Charakter und werden „fliessend“, wobei sie miteinander verknüpft sind und nur so einen konkreten Sinn erhalten. Ebenso Heisenberg: „Die Elementarteilchen sind nicht, wie man früher etwa an-genommen hätte, unveränderliche, unteilbare Grundbausteine der Materie. Sie können vielmehr ineinander umgewandelt werden“²⁰. „Die bekannte Formel: ‚jedes Elementarteilchen besteht aus allen anderen Elementarteilchen‘ scheint eine gute Beschreibung der paradoxen Situation zu geben, mit der wir in den Experimenten konfrontiert werden“²¹. Elementarteilchen „können ‚kleinste Einheiten‘ also nur in dem Sinne genannt werden, dass sie dann, wenn sie zerlegt werden, in Teile zerfallen, die selbst nicht kleiner sind, sondern eben wieder Einheiten etwa der gleichen Art und Grösse“.

Das Letztere ist das Entscheidende. Heisenberg findet einen anderen logisch mehr kohärenten Weg als die Annahme einer „inneren Strukturierung“, einer „unendlichen

¹⁷ Anaxagoras: Diels-Kranz, II, 59 (46) B Fr. 3: „Denn nicht gibt es beim Kleinen je ein Kleinstes, sondern stets ein noch Kleineres (denn es ist unmöglich, dass das Seiende durch Teilung zu sein aufhöre).“

¹⁸ Platon, *Timaios*, 53 E: „Die noch ursprünglicheren Urbestandteile aber kennt nur Gott und von den Menschen der, den er lieb hat“.

¹⁹ Omeljanowski-Rumer, in: *Physik. Blätter* 22 (1966), 8, 343.

²⁰ W. Heisenberg, in: *Die Naturwissenschaften*, 50 (1963), 1, S. 3.

²¹ W. Heisenberg: *Einf. in d. einh. Feldth.*, 1967, S. 2.

Teilbarkeit nach innen hinein". Alle Eigenschaften der Elementarteilchen rühren vielmehr von ihrer „äusseren Strukturierung“ her, von ihren vielfältigen Wechselwirkungen und Wechselbeziehungen, und damit von den übergeordneten Struktur-Feldern und dem diesen allen gemeinsamen universalen Rahmen-Gesetz. Die Teilchen oder Korpuskeln sind in diesem weltweit gespannten und logisch-mathematisch formulierbaren Rahmen nicht „beharrende Dinge“, sondern -wie schon Eddington und Whitehead voraussagten- „events“, das heisst: äusserst flüchtige Ereignisse. Philosophische Vorläufer dieses Gedankens, dass eine gesetzmässige Determination eine „unendliche Teilbarkeit nach innen hinein“ ausschliesse, habe ich bisher nur bei Nikolaus von Kues und bei Leibniz gefunden. Daher kann ich Heisenberg²² zustimmen, in seiner Schlussfolgerung: „Already the existing experimental evidence an elementary particles forces us now to say that we will either some day have a unified theory of the whole system of elementary particles, or we will not understand it at all.“

²² Niels Bohr, *Memorial Meeting*. Copenhagen 1964.