

GÖTTINGER UNIVERSITÄTSREDEN

34

PROBLEME DER HEUTIGEN ATOMPHYSIK

Rede
anlässlich der Übernahme des Rektorats der Universität
am 13. Mai 1961

gehalten von
Dr. Arnold Flammersfeld
ordentlicher Professor
an der Universität Göttingen



VANDENHOECK & RUPRECHT IN GÖTTINGEN

Ne
V Hugo, fd

1962 T 259

B

9286

8

34.

Universitäts-
Bibliothek
Freiburg i. Br.

1962

Gesamtherstellung: Hubert & Co., Göttingen

7609

Nach altem Herkommen soll der neugewählte Rektor über ein Thema seines Fachgebietes sprechen. Wenn ich es unternehme, über Probleme der heutigen Atomphysik zu sprechen, sind mir natürlich nur Probleme interessant, die mit dem Fortschreiten unserer Wissenschaft, unserer Kenntnis von den Atomen zusammenhängen. In dem vergangenen Jahrzehnt wurde die Atomphysik viel diskutiert, weil einige ihrer Erkenntnisse eine unvorhergesehene kriegerische und technische Anwendung finden; dieses Schicksal der Anwendung gefundener Naturgesetzmäßigkeiten erlebt die Physik seit Jahrhunderten ebenso wie die Chemie und andere Wissenschaften, sie dafür verantwortlich zu machen, ist allerdings neu. Heute soll nicht von dem kleinen Teilgebiet der Atomkernspaltung die Rede sein, sondern vom Aufbau der Atome aus Elementarteilchen.

Als vor drei Jahren einmal ein geistreicher Jurist eine Versammlung von Physikern zu begrüßen hatte, gestand er, daß er von der Physik nicht mehr zu sagen wisse, als daß sie ihm unheimlich sei wegen der Rasanzen ihres Fortschreitens und der Unverfolgbarkeit ihrer Ergebnisse. Bei dem drückenden Spezialistentum unserer Tage war das sogar den versammelten Physikern aus dem Herzen gesprochen. Aber das brillante Wort charakterisiert nicht nur unsere Physik; heute wird kaum eine Wissenschaft sein, von der nicht ihre Jünger dasselbe klagen.

Trotzdem sei mir als Physiker die Vorstellung erlaubt, daß in unserer Wissenschaft in der kurzen Zeit von sechs Jahrzehnten ein besonders großer, alle Voraussicht und Grenzen sprengender Schatz an Wissen erarbeitet worden sei, denn auch die Atomphysik ist gänzlich ein Kind unseres Jahrhunderts. Man

wird zwar oft darauf verwiesen, daß seit alters von Atomen die Rede ist; daß das Wort selbst aus dem Altertum stammt; aber die überlieferten Vorstellungen, die während zweier Jahrtausende vor jeder Nachprüfung sicher waren, haben auf den Gang der Atomphysik außer der Namensgebung nicht den geringsten Einfluß geübt. Den Beweis dafür liefern unsere Handbücher der Physik aus der Zeit der Jahrhundertwende. In ihnen findet sich nichts über den Bau der Atome, nur Entschuldigungen dafür, daß dieser Begriff gelegentlich benutzt wird. Und gewisse Gebiete der Physik, wie etwa die kinetische Theorie der Gase, in denen die Atome noch als Massenpunkte oder sehr sehr kleine Billardkugeln auftraten, mußten sich zu jener Zeit gelegentlich den Vorwurf gefallen lassen, sie erklärten die bekannten makroskopischen Naturgesetze durch Unbekanntes, nämlich durch das Verhalten der hypothetischen Atome.

Von dem wirklichen Bau der Atome, wie er etwa bis 1930 aufgeklärt wurde, konnte man durch reines Nachdenken nichts errahnen; die Wirklichkeit übertraf die Phantasie aller Physiker bei weitem. Solchen Tatbestand finden wir in der Geschichte der Physik viel öfter, als man gemeinhin meint, und das läßt die interessante Frage aufkommen, ob die Phantasie der Menschen hinreicht, beim Vordringen in unbekanntes Gebiet sich die Kompliziertheit der Natur vorher auszu-denken. Sie muß wohl mit einem klaren Nein beantwortet werden.

Die Tatsachen des Atombaues sind heutzutage allgemein bekannt und gerade in den letzten Jahren Gegenstand vieler allgemein verständlicher Darstellungen geworden. Die Aufhellung kam bekanntlich durch das Studium der Radioaktivität, nachdem kurz vor der Jahrhundertwende entdeckt wurde, daß die Atomarten Uran und Thorium dauernd energiereiche Strahlen aussenden. Im Verfolg dieser Untersuchungen wurden das Radium und viele andere neue Atomarten als

Folgeprodukte der auftretenden Atomumwandlungen entdeckt und isoliert.

Einige dieser neuen Elemente senden sehr energiereiche Heliumatome, sogenannte α -Strahlen aus, und mit Hilfe solcher α -Strahlen aus Radiumpräparaten gelang die Aufklärung des Atombaues. Als Rutherford im Jahre 1909 den Durchgang solcher α -Strahlen durch gewöhnliche, aber dünne Materieschichten untersuchen ließ, fand sich die unerwartete Erscheinung großer Ablenkungen der α -Strahlen von ihrer sonst gradlinigen Bahn. Eine Erklärung war nur möglich mit der Annahme, daß das Atom einen sehr kleinen Kern mit positiver Ladung und großer Masse besitze, der durch elektrische Kräfte eine entsprechende Anzahl von negativ geladenen Elektronen um sich versammelt hält. Die Elektronen waren als Bestandteile von Atomen bereits früher bei elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen erkannt.

Wer Rutherfords genialen Weitblick bewundern möchte, in der Meinung, Rutherford hätte die berühmten Versuche geplant in der Absicht, den Bau der Atome aufzuklären, der wird enttäuscht. Denn er hat selbst freimütig gestanden, was er mit diesen Versuchen beabsichtigte: ihm kam es darauf an, einen jungen Doktoranden mit einer vermutlich nicht sehr schwierigen Arbeit zu beschäftigen. Und erst als Rutherford die merkwürdigen Ablenkungen sah, zog er nach zwei Jahren angestrengtester Denkarbeit seine berühmten Folgerungen.

Nichts erläutert bezeichnender die Neuartigkeit einer Entdeckung als die Verwunderung der Zeitgenossen oder des Entdeckers selbst, und Rutherfords Worte sind überliefert: „Daß ein einziges winziges Atom mit den elektrischen Kräften seines Atomkernes ein vorbeirasendes α -Teilchen um mehr als 90° aus seiner Bahn ablenken würde, hätte er nie gedacht; noch eher hätte er für möglich gehalten, daß eine 38-cm-Granate, auf ein Blatt Papier abgeschossen, zurückkehren würde zur Kanone.“

Seit Rutherford wissen wir also, daß das einfachste Atom, das Wasserstoffatom, aus einem einzigen Proton als Atomkern besteht, das von einem einzigen Elektron umgeben ist. So definiert dieses Wasserstoffatom gleichzeitig zwei Elementarbestandteile unserer Materie, die Elementarteilchen Proton und Elektron. Das nächstkomplizierte Atom ist das schwere Wasserstoffatom, das im Kern außer dem Proton noch ein Neutron enthält, beide sind auf sehr engem Raum vereint und wirken nach außen als Kern der Ladung Eins und der Masse Zwei. Alle weiteren komplizierteren Atome sind in entsprechender Weise aus Protonen, Neutronen und Elektronen aufgebaut, und diese Vorstellung vom Bau der Atome hat tausendfach die Feuerprobe bestanden.

Die zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts waren die Zeit der großen Triumphe der Atomphysik, soweit sie den Aufbau der Elektronenhülle und ihre vielfältigen Wirkungen betrafen. Man nahm die Existenz der verschiedenen Atomkerne als gegeben hin, und mit den bekannten Gesetzen der Mechanik und der Elektrizitätslehre und mit Hilfe der in den zwanziger Jahren erkannten und immer folgerichtiger formulierten Quantengesetze gelang es bald, das Verhalten der Atome zu berechnen. Besonders in der eigentlichen Domäne jener Atomphysik, dem von den Wasserstoff-Atomen ausgesandten Licht, waren die Erfolge noch nie dagewesene. Nichts konnte man in der damaligen Physik so genau messen wie die Wellenlänge von Spektrallinien, und gerade die konnte die Atomtheorie auf mehr als ein Millionstel genau berechnen; die Übereinstimmung grenzte an das Wunderbare.

Alle diese Erfolge wurden unter Anwendung der mathematischen Methoden auf die Atome gewonnen, in entfernter Analogie zu den ersten grandiosen Erfolgen der rechnenden Physik in der Himmelsmechanik zu Zeiten Newtons bis Gauß. Ähnlich wie damals in der ganzen gelehrten Welt war auch jetzt die Begeisterung überströmend bei den Physikern, und

seit dieser Zeit hält man die mathematischen Methoden auch im Atomaren für erfolgreich. Zwar schien noch manches an den neuen Theorien ungewohnt; nicht alle, besonders die älteren Physiker, konnten allen Rechenverfahren zustimmen und glaubten, manche Vorbehalte machen zu sollen. Eine wesentliche Rolle spielte dabei der Vorwurf, die neuen Methoden der theoretischen Physik seien unanschaulich im Gegensatz zur älteren anschaulichen Methode. Jeder Kenner wird zustimmen, wenn man dem physikalischen Begriff „anschaulich“ mit Vorbehalt begegnet. Erscheint uns doch in der Physik meist das anschauliche, was wir in der Jugend in der Vorlesung bei einem Professor lernten in der Meinung, er selber sei von dem Vorgetragenen felsenfest überzeugt. Aber getreu einem alten Verfahren in der Wissenschaft setzt sich das Neue nicht immer dadurch durch, daß alle Zeitgenossen überzeugt werden, sondern man konnte darauf vertrauen, daß die unüberzeugten Anhänger älterer Vorstellungen und Gegner des Neuen aussterben würden.

Die Erfolge der Quantentheorie des Atombaues waren so überragend, daß an ihrer grundsätzlichen Richtigkeit nicht mehr zu zweifeln und eine Physik heute ohne die Quantentheorie undenkbar ist. Auffällig ist allerdings, daß dieser neue und umfangreiche Teil der Physik in wenig mehr als fünf Jahren erarbeitet wurde und seit etwa 1930 fertig dasteht, ohne daß einige unbeantwortete Fragen bis jetzt befriedigend gelöst werden konnten. Die Verkünder der neuen Lehre halfen sich nach dem Rezept aller Lehrer, das Goethe wie immer am treffendsten formuliert, wenn er sagt: Vom didaktischen Vortrag verlangt man Gewißheit; der Schüler will nichts Unsicheres überliefert haben. Nun mag man in jener Zeit der Auffindung der Quantentheorie beim didaktischen Vortrag des Guten vielleicht ein wenig zuviel getan haben, fest steht jedenfalls, daß seit dieser Zeit die Physiker die Probleme der atomaren Welt für lösbar halten. Aus jener Zeit stammt auch

die endgültige Spaltung der Physiker in Experimentalphysiker und Theoretische Physiker und die Tatsache, daß die Nichtfachgenossen mehr von den Erfolgen und Leistungen der Theoretischen Physik Kenntnis nehmen. Die Gründe dafür sind mannigfach, hauptsächlich beeindruckt die scheinbare Leichtigkeit, mit der viele Erscheinungen zusammengefaßt werden, wenn alles klar ist, und gelegentliche herrische Ausbrüche in die Philosophie. Doch wer die Theoretische Physik bei der Arbeit sieht, weiß die Schweißtropfen zu würdigen, die gerade hier vergossen werden, und die Unsicherheit, die beim Vorschreiten in unbekanntes Land vorherrscht.

Nach der Entdeckung des Neutrons schien eine wunderbar einfache Weltansicht gewonnen; mußte man früher die materielle Welt aufgebaut denken aus rund 90 ein für allemal geschaffenen und unveränderlichen Atomarten, so konnte man nun die Atome aufgebaut sehen aus nur drei verschiedenen Sorten von Elementarteilchen, Elektronen, Protonen und Neutronen, wobei die Elektronen der Hülle noch fein säuberlich getrennt waren von den Bestandteilen der Atomkerne. Im Kern allerdings waren Protonen und Neutronen eng aneinandergepackt, und da man mit Umwandlungen von Atomkernen bereits einige Bekanntschaft gemacht hatte, schien die nächste große Aufgabe der Atomphysik die Erforschung der Atomkerne zu sein. Allerdings war die Aufgabe gewaltig, weder waren die Kräfte bekannt, mit denen die Bestandteile des Atomkernes aufeinander wirken, noch war die Behandlung von Problemen, bei denen mehr als zwei Elementarteilchen miteinander wirken, als einfach zu erwarten.

Aber die Physiker waren gewohnt, schwere Probleme anzugreifen. Die Experimentalphysiker verfeinerten ihre Meßmethoden und begannen, die Riesenmaschine zu bauen, die Zyklotrons und Hochspannungsanlagen, mit denen sie erfolgreich den Geheimnissen der Atomkerne zu Leibe rückten; die Theoretischen Physiker verfeinerten ihre Modelle, die

eine Grundlage für vereinfachende Rechnungen bildeten, und unter deutlichem Vorrang der experimentierenden Physiker wurde manche schöne Frucht eingebracht. Die letzte und größte Entdeckung auf experimentellem Gebiet steuerten die Chemiker Hahn und Straßmann bei mit der Entdeckung der Uranspaltung, deren nahezu sofortige kriegerische Anwendung die Atomphysik fälschlich so in Mißkredit brachte, daß ganze Völker der Wissenschaft überhaupt müde geworden zu sein scheinen.

Aber ziemlich unerwartet tat sich unabhängig von der Erforschung des Atomkernes ein noch viel weiteres Gebiet auf, das uns heute noch viele ungelöste Probleme darbietet, nämlich die Untersuchung der Elementarteilchen selbst. Wenn ich oben gesagt habe, daß mit der Entdeckung des Neutrons im Jahre 1932 ein wunderbar einfaches Bild von unserer Materie gewonnen schien, so war gleichzeitig ein neuer, völlig unerwarteter Vorgang eklatant. Das Studium der radioaktiven Atome hatte gezeigt, daß es solche gibt, aus deren Atomkern ein Elektron beim Zerfall ausgesandt wird. Nachdem feststand, daß im Atomkern aber nur Protonen und Neutronen vorhanden sind, war die Folgerung unabweisbar, daß die im radioaktiven Zerfall ausgesandten Elektronen erst im Moment der Entstehung gebildet werden müssen, naheliegenderweise, indem sich ein Neutron in ein Proton plus ein Elektron verwandelt. Wenn man genau hinsah, mußte man sogar noch die Bildung eines weiteren Teilchens, eines sogenannten Neutrinos, annehmen. Damit war aber mit einem Schlage die Unveränderlichkeit der Elementarteilchen unhaltbar und die früher dem Atom zugedachte Unveränderlichkeit, die man freudig den Elementarteilchen übertrug, nicht mehr vorhanden. Die schöne Vorstellung, die Welt bestehe aus einer ein für allemal gegebenen Anzahl jedes der Elementarteilchen war dahin.

Nicht genug mit dieser wahrhaft aufregenden Situation, es folgten Schlag auf Schlag weitere Entdeckungen, die mit der Vorstellung unveränderlicher Elementarteilchen so gründlich aufräumten, daß die Physiker kaum noch sagen können, was ein Elementarteilchen eigentlich sei.

Die nächste Überraschung ließ nämlich nur kurze Zeit auf sich warten. Der amerikanische Physiker Anderson entdeckte 1932 bei Untersuchungen der aus dem Weltenraum ständig auf die Erde auftreffenden kosmischen Strahlung ein neues, bisher unbekanntes Teilchen, das Positron, das das genaue Gegenstück zum altbekannten Elektron war, nur daß es im Gegensatz zur negativen Ladung des Elektrons eine positive Ladung besaß und auf erregende Art unstabil sein konnte. Positron und Elektron besitzen genau die gleiche Ladungsmenge, das verschiedene Vorzeichen soll bedeuten, daß Elektronen etwa vom Proton angezogen werden, während Positronen also abgestoßen werden.

Wieder wenige Monate später lernte man, Positronen auch im Laboratorium herzustellen. Man brauchte dazu nur energiereiche Gamma-Quanten, also kurzwellige elektromagnetische Strahlung, auf Materie treffen zu lassen. Dann konnten aus der reinen Energie der Gamma-Quanten zwei vorher nicht vorhandene Elementarteilchen gebildet werden, nämlich je ein Elektron und ein Positron. Die Entstehung von Masse — denn die Elementarteilchen besaßen ja Masse — aus reiner Energie war damit zum erstenmal direkt sichtbar gemacht. Noch aufregender war dann das weitere Schicksal der jetzt leicht verfolgbaren Positronen, die nach kurzer Zeit sich mit irgendeinem stabilen Elektron der umgebenden Materie vereinigten und wieder zu reiner Energie, zu zwei Gamma-Quanten, zerstrahlten. Auf diese Weise gaben die Positronen also nur eine kurze Gastrolle auf unserer Erde, und die Frage des Woher und Wohin stellte sich gebieterisch. Als 1934 französische Forscher die künstliche Radioaktivität entdeckten, bekam man

radioaktive Atomarten in die Hand, die Positronen aussandten. Das bedeutete, daß im Atomkern eine Umwandlung von Proton in Neutron plus Positron vor sich gehen konnte und die Positronen also auch eine Beziehung zu den Kernbestandteilen haben mußten.

Das nächste Elementarteilchen war das μ -Meson, das die amerikanischen Physiker Anderson und Neddermeyer 1937 beim weiteren Studium der kosmischen Strahlen entdeckten. Es hatte die 207fache Masse des Elektrons und interessanterweise genau die gleiche elektrische Ladung wie das Elektron, aber es gab auch das μ -Meson gleicher Masse mit der positiven Ladung des Positrons.

Neuartig an beiden Sorten μ -Mesonen war, daß sie auch im leeren Raum nicht beständig waren, sondern nur eine Lebensdauer von rund einer Millionstel Sekunde besaßen. Die Entdeckungsgeschichte der Positronen und μ -Mesonen ist wieder höchst lehrreich. Im Jahre 1932 wollte Anderson sich nur vergewissern, ob in den Höhenstrahlen auch wirklich energiereiche Elektronen vorkommen und fand sie; als er ihre Energie bestimmen wollte, stellte sich heraus, daß außer den bekannten negativen auch die völlig unerwarteten positiven auftraten. In den folgenden Jahren wollte er möglichst viel dieser Positronen untersuchen, baute sich eine zählrohrgesteuerte Apparatur, die automatisch arbeitete, und fand Teilchen, die einfach keine Positronen sein konnten, weil ihre Masse viel zu groß war. Damit hatte er die μ -Mesonen entdeckt.

Mit diesen μ -Mesonen konnten sich die Physiker zehn Jahre lang beschäftigen, ohne daß sie weniger geheimnisvoll wurden. Mit dem Atomkern schienen sie wenig zu tun zu haben, obwohl man zuerst große Hoffnungen darauf setzte.

So konnte gelegentlich die Meinung laut werden, die μ -Mesonen in der Höhenstrahlung hätten als einzige Aufgabe die, die Höhenstrahlforscher zu beschäftigen.

Ganz neue Aspekte, aber viel komplizierter, als jede menschliche Phantasie es sich ausdenken konnte, ergaben sich mit der Entdeckung der π -Mesonen im Jahre 1947.

Die kosmischen oder Höhenstrahlen wurden viel mit Hilfe von Photoplatten untersucht, in denen die Mesonen Spuren hinterlassen. In England hatte eine Plattenfirma diese photographischen Emulsionen ganz erheblich verbessert, und als Lattes, Powell und Occhialini mit solchen Platten arbeiteten, entdeckten sie wieder neue Sorten von Mesonen, die sogenannten π -Mesonen, die es wieder mit positiver oder negativer Ladung gab, und deren Masse das 273fache des Elektrons betrug. Zur größten Überraschung waren diese Mesonen besonders kurzlebig und zerfielen auch im leeren Raum in ein μ -Meson gleichen Ladungsvorzeichens und ein Neutrino. Weiter konnte festgestellt werden, daß z.B. das positive μ -Meson dann weiter zerfällt in ein normales Elektron und zwei Neutrinos. Nicht genug damit, konnte Powell im selben Jahr 1947 auch noch eine weitere Sorte Mesonen finden, die heute K -Mesonen heißen und eine 966mal größere Masse als die Elektronen haben. Diese K -Mesonen können wieder in π -Mesonen zerfallen, die dann ihrerseits weiter zerfallen.

Das Rätsel, ob die π -Mesonen womöglich mit den Kräften im Atomkern zusammenhängen, wurde auch schnell gelöst. In Amerika war die Konstruktion der großen Beschleunigungsmaschinen so weit fortgeschritten, daß ein riesiges Zyklotron Helium-Atomkerne auf eine Energie von 380 MeV bringen konnte. Als Gardner und Lattes einen solchen Strahl auf gewöhnliche Materie, d.h. auf ruhende Atomkerne richteten und mit den von Powell benutzten Methoden nach π -Mesonen suchten, fanden sie große Mengen von π -Mesonen, die also beim Zusammenstoß von energiereichen Protonen oder Neutronen entstanden waren. Damit war die Untersuchung aller dieser Mesonen außerordentlich erleichtert, weil viel größere

Mengen an vorbestimmtem Ort erzeugt werden konnten, und die Eigenschaften sind heute weitgehend aufgeklärt.

Aber damit nicht genug, bei den weiteren Untersuchungen, die teils an immer vergrößerten Beschleunigungsanlagen, teils an Höhenstrahlen vorgenommen wurden, fanden sich noch vier weitere Gruppen von Elementarteilchen, die alle höchst unbeständig und kurzlebig sind, doch definierte Eigenschaften haben. Sie sind schwerer als Proton oder Neutron, heißen daher Hyperonen, etwa zwölf verschiedene sind mit einiger Sicherheit erkannt und ihre Massen liegen bei 2180, 2331, 2345 und 2590 Elektronenmassen.

Wenn wir eine Übersicht über alle nun bekannten Elementarteilchen geben wollten, so müßten wir eine Tabelle zeigen, die mindestens 30 solcher Teilchen enthalten würde. Die Definition dieser Elementarteilchen müssen wir so fassen, daß wir sagen, es sind stets genau reproduzierbare Quantitäten von Ladung und Masse, die im Haushaltsplan der Natur offensichtlich vorgesehen sind, wenngleich die meisten von ihnen anscheinend nicht gebraucht und äußerst kurzlebig sind. Alle können sich nach der Abstufung ihrer Masse ineinander umwandeln, immer ist die Ladung entweder $+e$, $-e$ oder Null, während die Masse die genannten diskreten Werte annehmen kann; alle hängen miteinander zusammen, wenngleich gewisse einschränkende Regeln bereits erkannt sind.

Denken wir nur an die Mesonen, so wandeln sich die K -Mesonen im leeren Raum in π -Mesonen, diese in μ -Mesonen um, und falls es negative sind, verwandeln sich diese μ -Mesonen in die altbekannten Elektronen.

Unsere Elektronen stehen also nicht vereinzelt da, sondern sind Endglieder einer langen Reihe von Elementarteilchen. Ähnliches gilt für die Positronen, die am Ende der positiven Mesonenreihe stehen.

Aber das Positron, mit seiner geheimnisvollen Art, zusammen mit einem Elektron zu zerstrahlen, aus dieser Welt

als materielles Teilchen zu verschwinden, hat Veranlassung zu gewaltigen Anstrengungen in folgender Frage gegeben: Gibt es womöglich dasselbe Verhältnis, das beim Positron-Elektron studiert ist, auch etwa beim Proton, oder, da das Proton positive Ladung hat, gibt es etwa auch ein negatives Proton, das aus reiner Energie zu erschaffen wäre und das mit dem normalen Proton zusammentreffend auch zerstrahlen würde?

Brauchte man für die Erschaffung eines Positron-Elektron-Paares nur eine Million eV Energie, so konnte man leicht ausrechnen, daß für die Erschaffung eines Protonen-Paares rund sechs Milliarden eV an Energie benötigt würden. Während nun die bisherigen Entdeckungen unbeabsichtigte Funde bei normalen und allgemein gedachten Untersuchungen darstellten, war die Auffindung des negativen Protons auf solche Weise nicht mehr möglich. Das Problem begeisterte die Physiker aber so, daß zum ersten Male eine gewaltige Maschine gebaut wurde, die normale Protonen auf sechs Milliarden eV beschleunigen konnte, einzig und allein zu dem Zwecke, nach dem hypothetischen negativen oder Antiproton zu suchen. Glücklicherweise stellte die Nation, die einer Forschungsgruppe 20 Millionen Dollar für den Bau eines solchen Bevatrons zur Verfügung stellte, nur um nach einem unbeständigen Elementarteilchen zu suchen.

Kurz nach der Inbetriebnahme des Bevatrons konnten Segrè und Mitarbeiter im Jahre 1955 das Antiproton herstellen und seine Eigenschaften untersuchen. Trifft ein solches Antiproton auf ein gewöhnliches Proton, so zerstrahlen beide unter Aussendung von mehreren π -Mesonen. Nicht genug damit, hat man auch Antineutronen aufgefunden, die gleiche Masse wie die gewöhnlichen Neutronen besitzen, elektrisch neutral sind und doch mit einem gewöhnlichen Neutron zusammen zerstrahlen können, wieder unter Aussendung von mehreren π -Mesonen.

So kennt man jetzt drei Beispiele von Antimaterie, von Paaren von Teilchen, die mit ihrem Partner zerstrahlen. Damit ist unsere Tabelle der 30 Elementarteilchen darauf zu untersuchen, welche zur Antimaterie gehören, und man kann tatsächlich rund die Hälfte dazu rechnen. Wenn- gleich wegen der Seltenheit und kurzen Lebensdauer direkte Vernichtungsexperimente nicht immer möglich sind, muß z.B. das negative μ -Meson zur Materie, das μ^+ -Meson zur Antimaterie gerechnet werden. Das μ^+ ist also das Anti-Teilchen zum μ^- -Meson.

Damit ist zwar die Tabelle der Elementarteilchen halbiert, aber neue Fragen sind möglich. Denken wir zum Beispiel an das gewöhnliche Kohlenstoffatom, es besteht aus sechs Protonen, sechs Neutronen im Kern und sechs Elektronen in der Hülle. Genausogut würde für sich im Raum isoliert ein Atom aus den Antiteilchen existenzfähig sein: ein aus sechs Antiprotonen, sechs Antineutronen und sechs Antielektronen, also Positronen in der Hülle bestehendes. Zwar sind nirgends derartige Atome aufgetreten, aber in der Natur sind sie zweifellos möglich, und phantasiebegabte Physiker denken sich schon in fernen Gegenden des Weltenraumes Gestirne aus derartiger Antimaterie.

Aber das ist reine Spekulation, kehren wir zu unseren Anfangsproblemen zurück. Was bedeuten diese vielen Elementarteilchen, kann man sie auf eine einheitliche Theorie der Materie zurückführen, die dann etwa ihrerseits zur besseren Beherrschung der Atomkerne führen würde?

Eine wichtige Frage ist natürlich auch die, ob man mit den rund 30 schon alle Elementarteilchen kennt oder ob es noch mehr gibt. Während man zur Herstellung des Antiprotons Maschinen für eine Energie von 6 GeV gebaut hat, sind zur Zeit zwei weitere Teilchen-Beschleuniger in Betrieb, die die fünffache Energie, also 30 GeV liefern.

Mit diesen wahrhaft gigantischen Maschinen soll unter anderem auch nach neuen Vertretern aus der Gattung der Elementarteilchen gesucht werden. Die Maschinen in Genf und Berkeley sind rund ein Jahr in Betrieb, bis jetzt sind allerdings noch keine weiteren neuen Teilchen glaubhaft gemeldet worden.

Was bedeuten aber die vielen Elementarteilchen? Warum tritt immer dieselbe Ladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb auf? Warum finden sich nur die genannten Massen? Warum zerfallen die Mesonen in der bekannten Art und warum nicht in anderer Weise? Warum sind die Protonen und Neutronen und Elektronen in unseren Atomen stabil? Warum genügen der Natur zum Aufbau der Materie in unserer Welt diese drei Teilchen, und wozu braucht sie die vielen anderen? Alles das sind Fragen, auf die es noch keine Antwort gibt, doch nach den bisherigen Erfolgen der Physik im Atomaren wird man es verständlich finden, daß die Physiker nach einer Antwort suchen.

Ist doch ein Erfolg weithin schon sichtbar: Für alle diese vielen Umwandlungen gilt der Satz von der Erhaltung der Energie, wenn man, wie seit langem erkannt, auch die Masse als eine Form der Energie betrachtet, so daß dieses Gesetz, vor 120 Jahren in der makroskopischen Physik aufgefunden, auch in den kleinsten Bausteinen seine Wirksamkeit erwiesen hat.

Nach Kirchhoffs berühmter Definition ist die Aufgabe der Physik die genaue und gewissenhafte Beschreibung der Natur. Das ist ein Satz, über den jeder Student der Physik erschrickt, wenn er ihn zum erstenmal hört, weil er darin das Wort Erklären vermißt. Schrödinger hat darauf hingewiesen, daß Kirchhoffs Definition, als Resultat langen Nachdenkens über die Physik und das was Erklären heißt, unangreifbar ist. Er hat aber auch darauf hingewiesen, daß die Physiker die großen Anstrengungen nicht wegen der genauen und gewissen-

haften Beschreibung der Natur auf sich nehmen. Sondern der eigentliche Reiz der Naturforschung liegt in den Gedanken, die die Forscher sich über die ans Licht geförderten Tatsachen machen, sei es, daß diese schon als diskutierbare Theorien oder nur als dunkle Ahnungen unerhört schöner Zusammenhänge vorliegen.

Wir geben uns der Hoffnung hin, daß die Physik der Elementarteilchen über das Stadium der nur geahnten Zusammenhänge hinauskommen wird, denn, heißt es bei Goethe, unsere Meinung ist: daß es dem Menschen gar wohl gezieme, ein Unerforschliches anzunehmen, daß er dagegen seinem Forschen keine Grenzen zu setzen habe.