

Friedländer nennt in seinen Darstellungen aus der Sittengeschichte Roms als besonders auffällige Erscheinung der Korruption im niedergehenden Rom, „den durch die Willkür der Ehescheidungen erzeugten und genährten frevelhaften Leichtsinn, mit dem die Ehen eingegangen wurden“.

Bei der Beratung des Code Napoléon sagte Carion Nisas: „Bei einem jungen Volke sind die Sitten besser als die Gesetze. Die ersteren sind rein, die letzteren sind noch unzulänglich. Bei einem kulturell überalterten Volke müssen die Gesetze besser sein als die Sitten.“

Was ist Materie?

Versuch einer Antwort vom Standpunkt der Elementarteilchenphysik

Von JOSEF BRANDMÜLLER

Die kleinste Menge eines chemischen Elementes ist das *Atom*. Das einfachste Atom ist das Wasserstoffatom. Fast die gesamte Masse des Atoms ist im Atomkern¹ vereinigt. Dieser Kern des Wasserstoffatoms heißt *Proton*, zu deutsch das Erste. Um dieses Proton bewegt sich, ähnlich wie die Planeten um die Sonne kreisen, ein etwa 1836mal leichteres Teilchen, das *Elektron*, das seinen Namen von seiner elektrischen Ladung hat. Man sagt, das Elektron besitzt eine negative Elementarladung. Das Wort elementar soll hier zweierlei ausdrücken: Erstens eine kleinere elektrische Ladung als die des Elektrons wurde bisher nicht mit Sicherheit beobachtet. Zweitens jede noch so große Elektrizitätsmenge ist ein ganzzahliges Vielfaches dieser kleinsten.

Man spricht nicht nur von Elementarladung, sondern auch von *Elementarteilchen*. Man meint damit die kleinsten gemeinsamen Bestandteile aller Materie. Diese Elementarteilchen nehmen heute die frühere Stellung der Atome als Grundbausteine der Materie ein. Zwei Elementarteilchen wurden bisher bereits genannt, nämlich das Proton und das Elektron. Das Proton hat eine positive Elementarladung und so ist das gesamte Atom, dessen Struktur Atomkern und Atomhülle ist, ein elektrisch neutrales Gebilde. Der Kern jedes Atoms hat als wichtigsten Bestandteil jeweils eine bestimmte Zahl von Protonen. Das Proton trägt also seinen Namen nicht nur als erstes in der Reihe der Atomkerne zu recht, sondern ist auch qualitativ ein „erstes“ Teilchen. Als weiterer Kernbestandteil kommt zum Proton noch ein weiteres Elementarteilchen hinzu: das *Neutron*. Fast von jedem Element gibt es verschiedene Sorten. Der Fachausdruck ist Isotope. Die Isotope eines Elementes haben in ihrem Kern alle dieselbe Zahl von Protonen, unterscheiden sich aber in der Zahl der Neutronen. Das Neutron hat eine ganz klein wenig größere Masse als das Proton, aber es hat keine elektrische Ladung. Das

¹ Vgl. etwa G. Miczaika, Atomkern und Atomprozesse, in dieser Zeitschrift, Bd. 139 (November 1946), S. 137—147.

Fehlen einer solchen hat diesem Teilchen seinen Namen gegeben. Proton und Neutron sind die beiden unmittelbaren Kernbestandteile. Man bezeichnet sie aus diesem Grunde oft mit dem gemeinsamen Namen *Nucleonen*, von *nucleus* = der Kern. Gleich hier beim Neutron zeigt sich uns eine merkwürdige Eigenschaft der Elementarteilchen, die uns später noch öfter begegnen wird, nämlich die Ineinanderumwandelbarkeit. Das Neutron ist nicht stabil. Von einer bestimmten Zahl von Neutronen hat sich nach 20 Minuten die Hälfte unter Aussendung je eines Elektrons in ein Proton umgewandelt. Und trotzdem hat man Gründe, das Neutron als „echtes“ Elementarteilchen zu bezeichnen, das ebenso einheitlich, ebenso wenig zusammengesetzt ist wie das Proton.

Um eine *Ordnung* in die Mannigfaltigkeit der *Elementarteilchen* zu bringen, unterscheidet man sie einerseits nach ihrer Masse, andererseits nach ihrer Ladung. Man spricht von schweren Elementarteilchen, oder da diese die Kernbestandteile sind, von Nucleonen. Dazu gehört das Proton und das Neutron. Und man spricht von leichten Elementarteilchen oder Leptonen. Ein solches ist das Elektron. Schwer und leicht ist natürlich hier nur ein relativer Begriff. Ein Proton mit $1/10^{24}$ Gramm ist absolut immer noch als leicht anzusprechen.

Da man aus Proton, Neutron und Elektron alle Atome aufbauen kann, hat es den Anschein, als ob man weiterer Elementarteilchen nicht mehr bedürfe. Doch leider ist die Materie nicht so einfach. In der gewöhnlichen Makrophysik ist man gewohnt zu sagen: gleichnamige Ladungen stoßen sich ab. Nun ist in jedem Atomkern eine bestimmte Zahl von Protonen, also gleichnamigen Elementarladungen vorhanden. Wie ist es möglich, daß dieser Atomkern zusammenhält, wo sich doch die Protonen untereinander alle abstoßen? Das kann nur möglich sein, wenn eine größere zusammenhaltende Kraft die abstoßende Kraft überwiegt. Wie aber kann man sich diese zusammenhaltende Kraft vorstellen? Im Jahr 1935 kam der Japaner Yukawa auf den entscheidenden Gedanken, der in mehrfacher Hinsicht sehr merkwürdig und gerade für die Frage nach dem Wesen der Materie sehr bedeutungsvoll ist. Zur Erklärung dieser zusammenhaltenden Kraft muß man ein weiteres Elementarteilchen annehmen, das heute den Namen π -Meson hat. Die Wirkungsweise dieses Mesons will ich in einem leicht verständlichen Bild klar machen, das ich dem recht amüsant geschriebenen Buch „Du und die Natur“ von Karlson² entnehme. Das Meson spielt die tragische Rolle einer Frau zwischen zwei Männern. „Herr Proton hat eine tiefe Neigung zum Mädchen Meson; die Liebe ist so groß, daß er sich nicht scheut, es seinem Nachbarn namens Neutron zu entreißen. Wenn das gelingt, sind beide glücklich bis zur Selbstvergessenheit, wir kennen sie nicht wieder, sie bildet eine Einheit — ein Neutron. Das erste Neutron aber, dem die Geliebte (und damit eine negative Ladung) genommen wurde, ist unver-

² P. Karlson, Du und die Natur, Druckhaus Tempelhof, Berlin 1950.

sehens ein Proton geworden, ununterscheidbar von dem ersten Liebhaber und von der gleichen Sehnsucht nach dem geliebten Mädchen Meson erfüllt. Sie sehen, worauf es hinausläuft — das arme Mädchen fühlt sich hin- und hergerissen, und so glücklich es in der Gemeinschaft mit einem Liebhaber ist, nie ist dieses Glück von Dauer — stets muß es zum anderen hinüberwechseln. Die beiden streitenden Liebhaber aber können nicht voneinander lassen. Ihre gemeinsame Liebe ist ein starkes Band; um so stärker, je öfter das Meson von dem einen fortgeht und sich zum anderen hinneigt. Den Liebenden auf Erden fehlt eine Maßzahl für ihre Liebe; sie nennen sie deshalb meist unendlich. Die Physiker können die Proton-Meson-Liebe messen. Je heftiger die Leidenschaft ist, je öfter sich das Mädchen Meson hin- und hergerissen fühlt, desto größer ist die Bindungsenergie der Nucleonen. Yukawa machte es allerdings umgekehrt: er wußte, wie fest die Protonen und Neutronen zusammenhalten, und berechnete daraus die Leidenschaft.“ Dies war zunächst nur Theorie, solange man das π -Meson nicht tatsächlich gefunden hatte, aber es war immerhin eine Möglichkeit, die Kernkräfte durch das Austauschspiel mit der Ladung, deren Träger das Meson ist, als „Austauschkräfte“ zu verstehen. Diese Deutung der Kernkraft steht natürlich in engem Zusammenhang zum früher schon erwähnten Zerfall des Neutrons. Man kann sich wohl vorstellen, daß die Bindungsenergie zwischen den Nucleonen umso größer ist, je schneller der Mesonenaustausch erfolgt, das heißt je kürzer der Zeitraum dauert, innerhalb dessen das Meson weder an das Proton noch an das Neutron gebunden ist. Aus theoretischen Erwägungen ergab sich, daß das π -Meson ein Teilchen mit der etwa 200—300fachen Masse des Elektrons sein mußte. Seine Masse liegt also zwischen der des Elektrons und des Protons. Daher rührt sein Name das „Mittlere“. Dieses Meson ist aber im Atomkern nicht aktuell vorhanden, sonst müßte es ja als unmittelbarer Kernbaustein auftreten, sondern nur virtuell, wie man zu sagen pflegt. Dabei versteht man unter virtuellen Prozessen eine für die Physik der Elementarteilchen charakteristische Art von Vorgängen, bei denen sich die Teilchen vorübergehend in Zuständen befinden, die nicht unmittelbar beobachtbar sind, weil sie mit den Zuständen vorher und nachher in enger Beziehung stehen, welche durch die Beobachtung zerstört würde. Das Meson ist sozusagen der Kitt, mit dem die Nucleonen zusammenhalten. Zwei Eigenschaften, die für die Elementarteilchen geradezu charakteristisch sind und mit denen wir uns noch näher zu befassen haben, sehen wir hier: die *Ineinanderumwandelbarkeit*: Proton und Neutron wandeln sich im Atomkern dauernd ineinander um, und die *Komplementarität*: ein Elementar-„teilchen“ kann sowohl Wellen- beziehungsweise besser Feld-, als auch Teilcheneigenschaft haben. So stellt man sich das π -Meson im Atomkern besser nicht als korpuskulares Teilchen, sondern als Repräsentant, der Physiker sagt „Quant“, des Kernfeldes vor. Diese Yukawasche Theorie der Kernkräfte erfuhr ihre experimentelle Bestätigung. Aus dem Weltenraum kommt dauernd auf die Erde eine kosmische Strah-

lung, die auf einer photographischen Platte mit besonderer Emulsion Spuren hinterläßt. Aus feinen Einzelheiten dieser Spuren kann man auf die Natur dieser Strahlung schließen. So kann man zum Beispiel aus der Dichte der Schwärzungskörner die Masse des betreffenden Teilchens bestimmen. Wenn man nun diese Platten in großer Höhe einige Zeit aufbewahrte, bekam man tatsächlich auch Spuren von den theoretisch vorhergesagten π -Mesonen.³ Inzwischen hat man diese Teilchen auch künstlich im Laboratorium herstellen können. Ihre Masse ist sehr genau als das 283fache der Elektronenmasse bekannt.

Auch bei diesen Elementarteilchen zeigt sich wieder die merkwürdige Eigenschaft der Umwandelbarkeit. Aus den Spuren auf den Platten konnte man entnehmen, daß sich nach einer Zeit von etwa einer hundertmillionstel Sekunde das π -Meson in ein sogenanntes μ -Meson verwandelt hat. Das μ -Meson hat eine Masse vom 215fachen der Elektronenmasse. Beide Sorten von Mesonen π und μ kommen sowohl mit negativer, als auch mit positiver elektrischer Ladung vor und wahrscheinlich gibt es auch elektrisch neutrale π -Mesonen. Auch die μ -Mesonen wandeln sich wieder um. Zum Beispiel verwandelt sich ein positives μ -Meson nach einigen millionstel Sekunden um in ein Teilchen von der Masse eines Elektrons, nur mit einer positiven Elementarladung — man nennt es *Positron* —, ferner in ein leichtes neutrales Teilchen, das *Neutrino*, und wahrscheinlich in noch ein weiteres neutrales Teilchen, das entweder ebenfalls ein Neutrino oder aber ein neutrales Meson von 10—30facher Elektronenmasse ist. Das Neutrino ist ein neutrales Elementarteilchen, dessen Masse nach Experimenten kleiner als etwa $1/500$ der Elektronenmasse sein muß. Die Mesonenarten scheinen mit den bisher genannten noch nicht erschöpft zu sein. Es gibt Anhaltspunkte dafür, daß einerseits noch weitere leichte Mesonen mit ungefähr 10facher Elektronenmasse — die λ -Mesonen — und andererseits weitere schwere Mesonen mit etwa 800—1000facher Elektronenmasse, die κ - und τ -Mesonen existieren. Fast sieht es so aus, als ob jede Masse zwischen der des Elektrons und des Protons vorkommen könnte, und daß nur die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der π - und μ -Mesonen besonders hoch ist. Ja sogar Teilchen, deren Masse größer ist als die des Protons hat man neuerdings bei den sogenannten *V-Teilchen* gefunden. Diese Teilchen haben ihren Namen davon, daß sie bei ihrem Zerfall in der photographischen Emulsion Spuren erzeugen, die wie ein großes lateinisches V aussehen.

Für unsere Frage, was ist Materie?, ergibt sich Folgendes: Je mehr wir ins einzelne gehen, je mehr wir der Materie auf den Grund gehen wollen, umso komplexer, von umso größerer Vielfältigkeit erweist sie sich. Die Materie, mit der wir immer zunächst die Vorstellung von etwas Kompaktem, Festem verbinden, scheint gleichsam unter unseren prüfenden Fingern zu zerbröseln. Wir können nicht alle Elementarteilchen in Vollständigkeit an-

³ Über die Entstehung der π -Mesonen in der Höhenstrahlung vgl. S. 199 in dem Absatz über die Komplementarität.

geben. Eine schier unübersehbare, verwirrende Fülle scheint es davon zu geben. Der Fachmann allerdings sieht in dieser Vielfalt schon eine gewisse Ordnung. Heisenberg spricht von einer Familie der Elementarteilchen. Die Familienglieder wandeln sich ineinander um als wären sie nur verschiedene Quantenzustände, andere Erscheinungsformen eines einzigen Grundgebildes, das Born mit dem Anaximanderschen Begriff *Apeiron* bezeichnet. Dieses Apeiron beginnt sich aber erst ganz dunkel in der Theorie der Elementarteilchen abzuzeichnen und vorläufig kann man noch nicht viel mehr darüber sagen als seine Existenz vermuten.

Noch ist nicht alles gesagt, was zur Frage, was ist Materie?, der Physiker beitragen kann. Um vom Sein der Materie noch Näheres, aber vielleicht noch Merkwürdigeres zu erfahren, sind zwei Elementarteilchen besonders zu besprechen, nämlich das Positron und das Elektron.

Zur Beschreibung des *Positrons* sei wieder ein Bild aus dem Buch von Karlson² entnommen. Die Elektronen werden mit den Zuschauern eines Theaters verglichen. Unter dem gewöhnlichen Parkett, das mäßig mit Elektronen positiver Energie besetzt ist, befindet sich im Keller nochmal ein Parkett. Dieses ist vollbesetzt, auf jedem Stuhl sitzt ein negatives Elektron mit negativer Energie. Diese negative Energie ist etwas ganz eigenartiges. Dirac läßt in seiner Theorie des Elektrons für ein freies Elektron positive und negative Energiewerte zu. Von diesem versenkten Parkett tief unter uns, vollbesetzt mit Elektronen negativer Energie merken wir für gewöhnlich nichts, da wir nur Unterschiede sehen und begreifen können. Von der Existenz des Unterparketts merken wir erst dann etwas, wenn es nicht mehr voll besetzt ist. Es kann nämlich ein Blitz einschlagen und einen der grauen, gleichförmigen Zuschauer im Unterparkett herausschleudern und in das gewöhnliche Parkett befördern. Im Unterparkett bleibt eine Lücke, ein freier Platz, ein Loch zurück. Und dieses Loch ist nun beobachtbar, weil es eine Unterbrechung, einen Unterschied im gleichförmigen Parkett bedeutet: es ist das Positron. Ein nicht besetzter negativer Energiewert entspricht einem Positron positiver Energie und positiver Ladung. Es wirft ein ganz eigentümliches Licht auf den Materiebegriff, daß die Abwesenheit eines Teilchens negativer Energie nunmehr die reale Existenz eines Teilchens positiver Energie bedeutet. Das ins Oberparkett beförderte Elektron ist dort als normales, negativ geladenes Elektron, natürlich ebenfalls positiver Energie, zu beobachten. Aus einem Blitz, einem Lichtquant ist ein Paar von einem Elektron und einem Positron geworden, ein Prozeß, den man Paarbildung nennt. Auch der umgekehrte Prozeß ist beobachtet, daß ein Elektron und ein Positron sich vereinigen und daß dafür ein Lichtquant erzeugt wird. In unserem Bild bedeutet dies, daß ein Elektron aus dem gewöhnlichen Parkett in das Loch im Unterparkett hineinspringt. Dann wird unten wieder graue Ruhe herrschen, aber einen Blitz wird es bei diesem Sprung geben. Dieser Vorgang heißt Zerstrahlung.

Die Paarbildung und Zerstrahlung zwingen uns, auch das Lichtquant — man nennt es *Photon* — als Elementarteilchen anzusprechen. Die Einordnung dieses Photons in das Elementarteilchenschema ist jedoch nicht so ganz einfach. Sicher ist, daß es keinen Sinn hat, bei ihm von einer elektrischen Ladung zu sprechen, obwohl andererseits das Photon gerade der Repräsentant — der Physiker sagt Quant — eines elektromagnetischen Feldes ist. Es ist also ein neutrales Teilchen. Ob das Photon eine Masse hat, wenn es ganz in Ruhe wäre, darüber sind die Akten noch nicht geschlossen. Jedenfalls muß diese, wenn überhaupt eine solche vorhanden ist, kleiner als das $1/10^{17}$ fache der Elektronenmasse sein. Das Photon wäre also zu den Leptonen zu zählen. Doch diese Ruhmasse scheint bei ihm nicht die richtige Einordnungseigenschaft zu sein. Nach der Relativitätstheorie weiß man, daß die Masse eines Teilchens von seiner Geschwindigkeit abhängt. Die Masse wird umso größer, je mehr sich die Geschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit nähert. Nun hat aber das Photon, gleichsam als Lichtatom, immer Lichtgeschwindigkeit. Man kann zeigen, daß die für die Masse des Photons entscheidende Größe seine Farbe, oder physikalisch ausgedrückt, seine Frequenz ist. So hat ein „blaues“ Photon eine größere Masse als ein „rotes“. Es hat also keinen Sinn das Photon in bestimmter Weise zu den Leptonen, Mesonen oder Nucleonen zu zählen. Welches von den dreien es ist, oder vielleicht besser, in welche von den drei Arten es sich beim Aufprall auf einen Atomkern verwandeln kann, hängt ganz von seiner Frequenz ab. Vorher war nur die Rede von der Paarbildung eines Elektrons und eines Positrons aus einem Lichtquant. Erzeugt man ein „blauerer“ Photon, also von größerer Masse, so tritt eine Paarbildung eines negativen und eines positiven π -Mesons auf. Charakteristische Kennzeichen der Elementarteilchen, wie die Umwandelbarkeit und die Komplementarität, die bei der Schilderung der Mesonen schon auftraten, werden hier bei der Paarbildung wieder ganz besonders deutlich.

Über die Komplementarität möchte ich noch einiges sagen.⁴ Schon beim π -Meson sprach ich davon, daß man sich dieses im Atomkern besser nicht korpuskular, sondern als Quant eines Feldes vorstellen solle. Es wurde vom virtuellen Vorhandensein des π -Mesons im Atomkern gesprochen. Die sehr energiereiche kosmische Höhenstrahlung, deren Ursprung noch nicht voll geklärt ist, vermag aber doch aus Atomkernen π -Mesonen herauszuschleudern, die dann vorwiegend Teilchencharakter haben. Die Höhenstrahlung ist in der Lage, während des kurzen Zeitraumes, in dem das Meson nicht an Nucleonen gebunden ist, eine Energie dem Atomkern zuzuführen, die größer als die Bindungsenergie der Nucleonen ist, was zur Folge hat, daß der Fangball π -Meson gleichsam aus der Wurfbahn geschleudert wird. Bei der Paarbildung sahen wir, daß aus dem Photon, also dem

⁴ Vgl. W. Büchel, Freiheit im Atombereich, in dieser Zeitschrift, Bd. 145 (Oktober 1949), S. 39—47.

Quant eines Feldes, ein Elektron und ein Positron entstehen können, bei denen man gewohnt ist, sie sich primär als Korpuskeln vorzustellen. Bei näherem Zusehen zeigt sich aber, daß diese Vorstellungen sehr einseitig sind. Es gibt Versuche, die unmittelbar erweisen, daß zum Beispiel auch das Elektron und das Neutron Feldcharakter haben. Diese Eigenschaft, sowohl Wellen- oder besser Feldcharakter als auch Korpuskelcharakter zeigen zu können, ist neben der Umwandelbarkeit sogar eine typische Eigenschaft der Elementarteilchen. Man nennt sie auch vielfach den Dualismus der Materie. Um ahnen zu können, wie merkwürdig dieser Dualismus ist, muß man sich vergegenwärtigen, was ein Feld und was ein Korpuskel ist. Ein Feld ist ein bestimmter Spannungszustand des Raumes, der eine gewisse Energie besitzt, und auf geeignete Körper Kräfte ausüben kann. Unser Körpergewicht ist eine Folge davon, daß wir dem Schwerfeld der Erde unterworfen sind. Ein Korpuskel ist demgegenüber an einer ganz bestimmten Stelle des Raumes lokalisierbar und hat einen ganz bestimmten Bewegungszustand. Und nun kann ein Elementarteilchen diese so gegensätzlichen Aspekte zeigen, jedoch nicht zugleich. Je mehr zum Beispiel bei einem bestimmten Versuch der Feldcharakter zu Tage tritt, desto mehr tritt der Teilchencharakter in den Hintergrund und umgekehrt. Die beiden Aspekte sind komplementär, wie man sagt. Die Frage, was denn nun das Elementarteilchen in Wirklichkeit sei, ob Feld oder Korpuskel, ist eine müßige Frage.

Auf all dies wurden wir geführt, als wir uns das Positron näher ansahen. Jetzt will ich noch ein zweites Elementarteilchen, das *Elektron* näher betrachten. Das Elektron scheint das relativ einfachst zu behandelnde Elementarteilchen zu sein. Außerdem hofft man, wenn man Theorie des Elektrons macht, wenigstens Anhaltspunkte für eine umfassendere Theorie der Elementarteilchen zu finden, die heute noch fehlt und deswegen im Brennpunkt des Interesses der Physiker liegt. So kann ich nicht die Frage nach dem Sein der Elementarteilchen in ihrer Allgemeinheit stellen, sondern muß mich beschränken auf die Frage, was ist das Elektron?, oder vielmehr weniger anspruchsvoll, welches Modell macht sich der Physiker vom Elektron? Es wäre sehr interessant und aufschlußreich die Beantwortung dieser Frage historisch zu entwickeln. Doch würde mich das hier viel zu weit führen. Von den neuesten Ansichten über das Elektron ist nur sehr schwer zu sprechen, denn die Übersetzungsarbeit von der reinen Fachsprache in eine allgemein verständliche Sprache ist eigentlich noch nicht geleistet. Trotzdem glaube ich gerade hier einiges darüber sagen zu müssen.

Ich knüpfe am besten an das Modell des Wasserstoffatoms an, das ich am Anfang brachte. Dort sagte ich etwa: Um das Proton bewegt sich, ähnlich wie die Planeten um die Sonne kreisen, ein etwa 1836mal leichteres Teilchen, das Elektron. Dieser Satz muß nun präziser gefaßt werden. Wir müssen neben Ladung und Masse noch eine weitere grundsätzlich ebenso wichtige Eigenschaft der Elementarteilchen kennenlernen. „So wie Walzertänzer den ganzen Saal umkreisen und sich gleichzeitig um sich selbst

drehen — so hat auch das Elektron bei seinem rasenden Kreislauf um den Kern noch eine ganz lokale Umlaufbewegung. Es lag zunächst nahe, an eine Kreiselbewegung des Elektrons um seine Achse zu denken, ähnlich wie sich die Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne noch um ihre eigene Achse dreht. Von dieser Vorstellung hat die Erscheinung ihren Namen — Spin —, nach dem englischen Wort, das so viel wie Drall bedeutet. Viel mehr als der Name ist jedoch von dieser alten Vorstellung nicht übriggeblieben. Zahlenmäßig paßt sie hinten und vorne nicht.² Es muß hier erwähnt werden, daß Dirac den Spin richtig berechnen konnte, ohne eine genaue Vorstellung seiner Natur zu haben. Erst Schrödinger hat aus der Dirac-Gleichung herausgelesen, daß sich das Elektron um ein gedachtes Zentrum mit Lichtgeschwindigkeit bewegt. Der Freiburger theoretische Physiker Hönl hat dieses Ergebnis aufgegriffen und sein „*Modell des umlaufenden Massenpunktes*“ aufgestellt. Hönl stellt sich das Elektron als punktförmiges Teilchen vor, das mit Lichtgeschwindigkeit umläuft auf einem Kreis, dessen Radius etwa der dreihundertste Teil des Radius des ganzen Wasserstoffatoms ist. Nach Hönl vollführt also das Elektron in der Hülle eines Atoms eine schraubenförmige Bewegung bei seinem Umlauf um den Atomkern. Aber auch ein freies Elektron zeigt eine solche charakteristische Bewegung. Wie muß man sich das Teilchen vorstellen, das diese eigenartige Zitterbewegung, wie man die Hönl'sche Kreisbewegung auch nennt, ausführen kann? Ähnlich wie die Kraft zwischen Nucleonen durch den oben geschilderten virtuellen Austausch von π -Mesonen zustande kommt, nämlich durch deren vorübergehende Erzeugung und Wiedereinfangung nach ihrer Wanderung zwischen den Teilchen, so kann man die elektrische Anziehungskraft darstellen durch einen virtuellen Austausch von Photonen. Aber auch beim isolierten Teilchen, wie zum Beispiel bei einem einzelnen Elektron, gibt es solche virtuellen Prozesse, die in der vorübergehenden Emission von Photonen mit nachfolgender Reabsorption bestehen. Dies geschieht viel öfter, als man vermutet. Das ausgesandte Photon hat eine gewisse Energie und Energie ist ja Masse ein Stück weit vom Ladungszentrum weggetragen und damit den Massenschwerpunkt vom Ladungszentrum verschoben. Diese dauernden Schwerpunktsverschiebungen sind die Ursache für die Zitterbewegung, die ihrerseits den Spin zur Folge hat.

Noch ein weiterer für unsere Frage wichtiger Gesichtspunkt soll zum Schluß erwähnt werden. Während des Krieges wurde im Zusammenhang mit der Radarforschung die Mikrowellentechnik in Amerika entscheidend verbessert. Nach dem Kriege wurden die neuen Methoden auch auf die Grundlagenforschung angewendet und man erreichte damit eine unerhörte Steigerung der Meßgenauigkeit. Experimentelle Ergebnisse, die man hierbei erzielte, können theoretisch etwa folgendermaßen verstanden werden: Einmal tritt stärker hervor die Existenz des früher schon besprochenen Positrons, zum anderen zeigt sich die Tatsache, daß das Vakuum physikalische

Eigenschaften hat, die man nicht vernachlässigen darf. Die physikalische Beschreibung des Vakuums muß also komplizierter sein als bisher und das latente Elektron-Positron-Paar enthalten. In unmittelbarer Nähe eines Elektrons tritt infolge seiner Ladung eine virtuelle Trennung des latenten Elektron-Positron-Paares, also eine virtuelle Paarbildung auf. Die Ursache dafür sind wiederum die vorher erwähnten virtuellen Lichtquanten, die von einem geladenen Teilchen ausgehen. Das virtuelle Lichtquant erzeugt in der sehr kurzen Zeit, innerhalb der es noch nicht wieder eingefangen wurde, ein solches virtuelles Elektron-Positron-Paar. Das, was sich von uns als Masse beziehungsweise Energie des Elektrons beobachten läßt, ist bereits das Wechselwirkungsprodukt eines Elektrons „an sich“ mit seinem eigenen Feld und mit dem Vakuum. Es ist ein Kennzeichen der neuesten Theorie der Elementarteilchen, daß ein solches seine Umgebung stört, umformt, und das, was wir als reales Elementarteilchen beobachten können, ist das hypothetische Teilchen samt seiner gestörten engeren Umgebung.

Hier sind wir an der vordersten Front der Forschung und ich muß abbrechen. Letzten Endes kann der Physiker auf die Frage, was ist Materie?, nur mit einem Modell antworten und er begnügt sich damit. Wesensausagen über die Materie will er ja nicht aussprechen. Die Physik kann nicht die „Wirklichkeit“ erkennen. Die Modelle sind nur Bilder und nicht identisch mit der Wirklichkeit. Die Modelle der Physik der Elementarteilchen haben nicht mehr die elementar anschauliche Form wie die Modelle der klassischen Physik. Aber man darf solche Modelle auch nicht allzu gering schätzen. Auch der Bau der Atombombe fundierte letzten Endes nur auf Modellvorstellungen und die Bombe explodierte doch. So können Modellvorstellungen später einen gewissen Grad von Wirklichkeit annehmen.

Das Modell des Elektrons trägt noch sehr unbefriedigende Züge. Alle wohl so sonderbar, und oft unmotiviert vorkommenden Dinge, von denen hier berichtet wurde, haben ihre Merkwürdigkeit daher, daß eben noch eine geschlossene Theorie der Elementarteilchen fehlt. Die Merkwürdigkeit liegt nicht in dem Sein der Elementarteilchen, sondern liegt in unserer eigenen Unzulänglichkeit, die darin besteht, daß wir den Mikrokosmos mit den uns aus der gewöhnlichen Anschauung geläufigen Begriffen und Denkweisen erklären und deuten wollen. Wir haben für den Mikrokosmos noch nicht die adäquate Sprache und Ausdrucksweise gefunden.⁴

Schwierigkeiten, die auftreten, haben wir wahrscheinlich zum Teil als Geburtswehen einer neuen physikalischen Naturkonstante zu deuten. Zu den bisherigen Naturkonstanten, wie etwa die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und das Plancksche Wirkungsquantum, wird noch eine weitere hinzukommen. Man weiß sogar schon, wie sie aussehen und wie groß sie ungefähr sein wird. Sie wird die Dimension einer Länge und etwa den Zahlenwert $1/10^{13}$ cm haben. Es handelt sich also hier um die Einführung einer *Elementarlänge*. Es gelang aber bisher noch nicht, diese neue Naturkonstante konsequent in die Theorie einzubauen.

Faßt man zusammen, so würde der Physiker auf die Frage, was ist Materie?, vom Standpunkt der Elementarteilchenphysik aus in Kürze etwa so zu antworten versuchen: Die Materie ist aus den Elementarteilchen aufgebaut. Sie sind die Grundbausteine der Materie. Ihre wichtigsten Bestimmungsstücke sind Masse, Ladung und Spin. Man spricht von einer Familie der Elementarteilchen, deren Glieder vielleicht nur verschiedene Zustände eines einzigen Urgebildes, des Apeirons sind. Die Elementarteilchen sind dadurch gekennzeichnet, daß man sie nicht mehr als räumliche Strukturen im üblichen Sinn, also aus weiteren Teilen zusammengesetzt denken kann. Sie sind nicht weiter zerlegbar und bilden verschiedene Sorten untereinander gleichartiger Gebilde, wie Leptonen, Mesonen und Nucleonen. Es ist für sie charakteristisch, daß an die Stelle der Zerlegbarkeit die Umwandelbarkeit tritt. Aus der Unwandelbarkeit der Demokritischen Atome wurde die Umwandelbarkeit der Elementarteilchen. Sie zeigen Feld- und Korpuskelcharakter, und zwar in komplementärer Beziehung. (Diese Komplementarität hat ihr indeterminiertes Verhalten zur Folge.⁴⁾ Die Kräfte zwischen Elementarteilchen, aber auch das Verhalten und die Eigenschaften einzelner Elementarteilchen werden wesentlich bestimmt durch die Emission und Reabsorption virtueller Elementarteilchen. Das Elektron im besonderen, gleichsam als Prototyp eines Elementarteilchens, kann man sich vorstellen als ein punktförmiges geladenes Teilchen, das dauernd Photonen emittiert und wieder absorbiert und deswegen mit Lichtgeschwindigkeit eine immerwährende Zitterbewegung ausführt. Das, was man als Elektron beobachtet, ist das Wechselwirkungsprodukt eines Elektrons „an sich“ mit seinem eigenen Feld und dem Vakuum. Auftretende Schwierigkeiten deuten auf eine neue Naturkonstante, die Elementarlänge, hin.

Wo steht die katholische Bibelarbeit?

Von FRANZ HILLIG S. J.

Vor mir liegt der „Stuttgarter Bibelkatalog 1952“. Er ist nach 2 Kor 9 auf die Dankbarkeit gestimmt: „Gott sei Dank für seine unaussprechliche Gabe“. Ist er doch herausgegeben zur Erinnerung an das 140jährige Bestehen der evangelischen „Privilegierten Württembergischen Bibelanstalt“, die im Jahre 1820 in Stuttgart gegründet wurde. Im „Bibelblatt“ (Nr. 78, 1952) gibt der derzeitige Direktor D. Emil Diehl einen anschaulichen Bericht über die Geschichte des Werkes.

Die Württembergische Bibelanstalt

Die Württembergische Bibelanstalt ist ein gemeinnütziges kirchliches Unternehmen zur Herstellung und Verbreitung der Bibel. Von vornherein