

Das Heil der Zukunft können wir nur erwarten, wenn wir den Rassenwahn völlig zerstören und uns einfügen in die Welt als ein Volk unter den Völkern, berufen wie alle, eine Gemeinschaft von Kindern Gottes zu sein, von Brüdern und Schwestern in Christo, von Menschen, die durch die Gnade des Kreuzes als erbberedite Hausgenossen Gottes einmal für die selige Gottesschau bestimmt sind.

Mit Jesus Christus dem Gekreuzigten in der organischen Einheit der Weltkirche verbunden, werden wir durch die Gnade des Kreuzestodes Christi den Fürsten dieser Welt, den Christus also bezeichnet hat, hinauswerfen. Auch über uns vermag er nichts. Im Gegenteil. Die Welt soll erkennen, daß auch wir Gott, unseren Vater, lieben. Denn auch wir erfüllen, was er verlangt.

Wir wissen, wann der Herr diese letzte Absage an den Fürsten dieser Welt aussprach. Es war, als er mit dem Wort: Stehet auf, lasset uns gehen! vom Ölberg her den Bach Kidron überschritt, der ihn von seinem bitteren Leiden und Sterben trennte. Der vom Blut des Erlösers gerötete Morgen einer neuen Zeit brach an. Und aus der Dämmerung stieg wie eine Sonne das neue Sion empor, das alle Völker der Erde durch die eine von Christus geöffnete Weltreligion in ein einziges Gottesvolk verwandelt.

Atomkerne und Atomkernprozesse

Von Dr. G. MICZAIKA

Die letzten Wochen des Krieges haben ein naturwissenschaftliches Forschungsgebiet in das Blickfeld der Öffentlichkeit gerückt, das in den zwei Jahrzehnten vor dem Kriege der Physik ein charakteristisches Gepräge verliehen hat, wovon in weiten Kreisen jedoch kaum mehr als die Überschrift „Kernphysik“ oder das Schlagwort der Zukunftsromane „Atomzertrümmerung“ geläufig war.

Seit der ersten Vorführung technisch verwerteter Erkenntnisse kernphysikalischer Forschung in der Atombombe sind Begriffe wie Atomenergie, Kernprozesse, Kettenreaktionen u. a. Gegenstand der täglichen Zeitungslektüre geworden, und die Menschheit lebt in Angst und Sorge vor den grauenhaften destruktiven Kräften, die sich offenbar dahinter zu verbergen scheinen. Die Zeitspanne zwischen wissenschaftlicher Erforschung und ingenieurmäßiger Anwendung ist hier so kurz, daß über den Fachmann hinaus nur wenige Anregung und Gelegenheit gefunden haben, die Grundlagen kennen zu lernen. Dazu kommt allerdings auch noch eine dem Gegenstand anhaftende, durch das relativ Unanschauliche unserer modernen physikalischen Vorstellungen bedingte Schwierigkeit des Verständnisses überhaupt und die zumeist mit Rücksicht auf die bisher erfolgten Anwendungen beobachtete Geheimhaltung aus militärischen und ähnlichen Gründen.

Wir sprechen von Fragen der Atomphysik, ein außerordentlich umfangreiches Gebiet, zu dem schlechterdings alles gehört, was der mikrokosmischen,

atomistischen Betrachtungsweise unterliegt. Den Fragenkomplex, den wir uns vor Augen führen wollen, um etwas über „Atomenergie“ zu erfahren, müssen wir daher notgedrungen stark beschränken. Tatsächlich führen wir dabei durchaus keine Neueinteilung der Physik ein, denn in ihrem Sprachgebrauch ist eine solche Zweiteilung in „Atomphysik“ und „Kernphysik“, die gleichzeitig eine Arbeitsteilung darstellt, schon lange üblich. In diesem Sinne umfaßt die Atomphysik all das, was ohne spezielle Annahmen über die Beschaffenheit der Atomkerne erklärt werden kann. Die Atomphysik der letzten dreißig Jahre hat überzeugend dartun können, daß nahezu alle chemischen und physikalischen Eigenschaften der Materie durch die Elektronenhülle der Atome bedingt werden und deren Aufbau wiederum fast restlos durch die elektrische Ladung des Kerns als einzigen Parameter bestimmt wird. Fast alle chemischen und physikalischen Prozesse — abgesehen von der Radioaktivität als wichtigster Ausnahme — konnten daher auch keinen Aufschluß über den Aufbau der Atomkerne und die Kräfte, die sie zusammenhalten, geben. Das Studium der Kerne, die Bereitstellung der notwendigen experimentellen und theoretischen Forschungsmethoden ist Aufgabe der Kernphysik, die tatsächlich ganz neue Wege gehen mußte, als sie 1912 mit dem Kernmodell von Rutherford ihre Entwicklung begann.

Das Fundament der Kernphysik ist die Annahme, daß die Atomkerne selbst wieder aus einfacheren Elementarbausteinen zusammengesetzt sind, ganz im Gegensatz zur alten, auf Demokrit und Leukipp zurückgehenden Auffassung, daß die Atome etwas unteilbar Letztes der materiellen Welt darstellen. In gewisser Weise ist der englische Arzt Prout ein Vorläufer dieses Gedankens gewesen; er entwickelte bereits 1815 die Vorstellung, daß die Atome der verschiedenen chemischen Elemente schließlich alle auf eine Kombination von Wasserstoffatomen zurückzuführen seien. Anlaß zu dieser Annahme bietet die Ganzzahligkeit der Atomgewichte und -ladungen, bewiesen wird sie bis zu einem gewissen Grad durch den sich unter unseren Augen vollziehenden Zerfall der radioaktiven Elemente oder durch „Zertrümmerung“ von Atomen bei künstlich ausgelösten Kernumwandlungen. Die Theorie erklärt die Art und Weise, in der die Kerne aus den Elementarbausteinen zusammengesetzt sind, sie ermittelt die Eigenschaften dieser Bausteine und stellt so den fundamentalsten, an den letzten Grundlagen unseres physikalischen Weltgebäudes im Verein mit dem Experiment arbeitenden Forschungszweig dar.

Die Erforschung der Elektronenhülle des Atoms und aller mit ihr in Zusammenhang stehenden Erscheinungen — der Inhalt der Atomphysik —, wozu u. a. auch die Theorie der Lichtemission und -absorption, die Bildung der Moleküle, Fragen der Elektrizitäts- und Wärmeleitung sowie des Aufbaus der Materie überhaupt gehören, steht selbstverständlich in enger Wechselwirkung mit der Kernphysik. Sie ist ja auch experimentell gewissermaßen der Vorhof, durch den der Kernphysiker hindurch muß, um zum Gegenstand seiner Forschung vorzudringen.

Um eine klare Abgrenzung dieses Gegenstandes, der uns im Folgenden allein beschäftigen wird, festzulegen, wollen wir uns wenigstens eine grobe Vorstellung des Atombaus in die Erinnerung zurückrufen, wobei wir uns nicht allzu betont an das Bohrsche Atommodell, das bekanntlich eine Art stark verkleinertes Abbild des Sonnensystems war, anlehnen wollen. Es ist nach dem heutigen Stand unserer Kenntnis eine zu gewaltsame Analogie, um es noch mit Berechtigung zur Beschreibung der Verhältnisse anwenden zu dürfen.

Das Atom besteht aus einem sehr kleinen Kern (etwa 10^{-12} cm Durchmesser), der in einer relativ weit ausgedehnten Hülle (etwa 10^{-8} cm Durchmesser) eingebettet liegt. Diese Hülle hat für sich genommen keine materielle Substanz, sie ist vielmehr als Aufenthaltsraum der Elektronen des Atoms ausgezeichnet, deren Anzahl durch die Ordnungszahl (1—92) des Elements im Periodischen System der Elemente bestimmt ist. Die verschwindend kleine Ausdehnung des Kerns, der trotzdem weitaus den größten Teil der Gesamtmasse des Atoms enthält, gegenüber den Abmessungen des als „Atom“ schlechthin bezeichneten, vom materiell-deskriptiven Standpunkt aus als „leer“ zu betrachtenden Gebildes, ist überraschend. Die materielle Leere des Atomraums ist durch Sondierung seines Innern mit Hilfe hindurchgeschleuderter Elektronen oder anderer Teilchen (Neutronen, Protonen usw.) experimentell nachgewiesen worden. Die Elektronen der Hülle sind in freiem Zustand gleichzeitig die Elementarteilchen der Elektrizität.

Die Bewegung der Elektronen um den Kern wird nicht durch die Gesetze der klassischen Newtonschen Mechanik geregelt, die den Elektronen prinzipiell alle räumlich möglichen Bahnen erlauben würde, während in Wirklichkeit nur ganz bestimmte sog. „stationäre“ möglich sind, zwischen denen zwar räumlich Platz für weitere Bahnen vorhanden ist, die aber aus quantentheoretischen Überlegungen — aus dem klassischen Vorstellungsbereich sind sie nicht ableitbar — in Übereinstimmung mit der Erfahrung nicht auftreten können. Der Welle-Korpuskel-Dualismus der modernen Physik, der seinen Ausdruck in der Behauptung findet, daß ein atomares Teilchen zwar eine physikalische Realität ist, aber eine solche, die außerhalb des Bereichs der unmittelbaren Wahrnehmbarkeit liegt und daher mit räumlichen und zeitlichen Begriffen nicht mehr anschaulich beschrieben werden kann, sondern je nach dem mit ihm angestellten Experiment unter Verwendung eines Bildes „Welle“ oder „Teilchen“ als räumlich kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Prozeß dargestellt wird. Die Abgrenzung dieser Bilder vermittelt die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation, die eine Unbestimmtheit oder mangelhafte Bestimmtheit der im Bild vorkommenden Größen postuliert, die aus prinzipiellen Gründen nicht unterschritten werden kann.

Doch wollen wir uns nicht näher mit diesen Fragen beschäftigen, so interessant sie auch sein mögen, sondern uns unserem eigentlichen Thema, den Atomkernen, zuwenden.

Der Ursprung der Kernphysik ruht im Rutherfordschen Atommodell, das allerdings zunächst mit der Annahme einer bestimmten elektrischen Ladung des Kerns auskommt und keiner weiteren, insbesondere über seine innere Struktur, bedarf. Das Studium der Spektren kommt ebenfalls damit aus, wenn man von den durch die Kernmasse bedingten Feinheiten — meist Isotopieeffekte — absieht. Zur Untersuchung des Kerns mußten daher auch ganz spezielle Wege eingeschlagen werden.

Einen gewissermaßen freiwilligen Einblick in das Kerninnere bietet die natürliche Radioaktivität mancher Elemente, die in der spontanen Emission von Teilchen aus dem Kern besteht. Dieses pathologische Betragen beobachtet man vor allem bei den letzten und schwersten Elementen des Periodischen Systems, wovon Uran, Thorium, Radium und Aktinium die bekanntesten sind. Doch gibt es auch Isotope einiger leichter stabiler Elemente, die radioaktiv sind. Unter Isotopen versteht man Atome, genauer gesagt Kerne, die zwar verschiedenes Atomgewicht haben, infolge ihrer untereinander gleichen elektrischen Ladung jedoch alle dasselbe Element darstellen; z. B. gibt es Sauerstoffatome mit den Atomgewichten 15, 16, 17, 18, 19, und andere Elemente haben gelegentlich noch mehr Isotope. Mit Rücksicht auf die Masse allein müßte das Sauerstoffisotop 19 eigentlich Fluor sein (umgekehrt gibt es Fluor-Isotope, die nach dieser Rechnung eigentlich Sauerstoff sein müßten), aber die Kernladung entscheidet für Sauerstoff (bzw. Fluor), was in Übereinstimmung mit dem chemischen Verhalten steht.

Die radioaktive Emission von Kernbestandteilen bedeutet gleichzeitig den Übergang des Kerns aus einem bestimmten energetischen Zustand in einen anderen. Emittiert werden α -Teilchen, das sind Heliumatomkerne mit dem Atomgewicht 4 und der Ladung 2 (abgekürzt 4_2He geschrieben), positive oder negative β -Teilchen (Positronen oder Elektronen), oft begleitet von der elektromagnetischen γ -Strahlung (äußerst kurzwellige Lichtstrahlung). Die γ -Strahlung tritt nur auf, wenn aus energetischen Gründen ein Ausgleich durch Abgabe von Energie erforderlich ist. Ihre Lichtquanten sind jedoch nicht als Bausteine des Kerns in ihm enthalten, sie entstehen vielmehr erst im Augenblick der Emission. Im Kern ist nur die ihnen äquivalente Energie vorhanden, die sich bei der Entstehung der Lichtquanten aus der potentiellen Energie z. B. eines Coulombfeldes in die Strahlungsenergie des emittierten Quants umwandelt.

Der radioaktive Vorgang stellt — da er Kernladungszahl und Masse ändert — eine Umwandlung des Atomkerns dar; die Atome eines bestimmten Elements verwandeln sich also in die eines oder mehrerer anderer. Durch sukzessive radioaktive Prozesse, sog. Zerfallsreihen, entwickelt sich beispielsweise aus Uran über Radium und verschiedene andere Zwischenelemente Blei und Helium. Die Neigung zum Zerfall ist für die einzelnen Elemente sehr unterschiedlich, so daß ihre Lebensdauer ebenfalls in weiten Grenzen schwankt und oft nur winzige Bruchteile einer Sekunde, in anderen Fällen tausend und mehr Millionen von Jahren beträgt.

Die nächsten großen Schritte in experimenteller Hinsicht sind die ersten künstlichen Kernumwandlungen 1919 durch Rutherford und Chadwick (Stickstoff), die Entdeckung des Neutrons durch Curie, Joliot und Chadwick 1932, Kernumwandlungen durch künstlich beschleunigte Teilchen von Cockcroft und Walton 1932, die etwa gleichzeitig erfolgte Auffindung des schweren Wasserstoffisotops (Deuterium) durch Urey und des positiven Elektrons (Positron) durch Anderson. Schließlich haben Curie und Joliot als erste künstliche Radioaktivität erzeugen können, und Hahn und Meitner lösten durch Neutronenbeschuß von Uran und Thorium künstlich ganze Zerfallsketten aus, wobei sogar neue Elemente, sog. Transurane, jenseits der Grenze des Periodischen Systems, entstanden, die in der Natur nicht vorkommen.

Diesen großen experimentellen Erfolgen stehen durchaus gleichwertige theoretische auf quantenmechanischer Grundlage gegenüber. Die Entdeckung des Neutrons erwies sich auch in theoretischer Hinsicht als außerordentlich fruchtbar. Heisenberg hat die Entwicklung 1932 besonders vorangetrieben, indem er die von ihm, Dirac und Schrödinger wenige Jahre vorher entwickelten quantentheoretischen Vorstellungen auf die Kerne anwandte, nachdem sie schon Gamow, Condon u. a. zur Lösung einiger spezieller Teilfragen erfolgreich herangezogen hatten. Die Kernphysik ist ein ausgezeichnetes Beispiel für planvolles Zusammenarbeiten von Experiment und Theorie, und für die nahe Zukunft haben wir Grund zu allen Hoffnungen auf neue umfassende Erkenntnisse über den Aufbau der Materie, ganz abgesehen von den vorläufig überhaupt noch nicht abzuschätzenden Möglichkeiten, die die Kernphysik uns für Technik, Medizin, Physiologie, Energiewirtschaft, letzten Endes für das menschliche Leben überhaupt zu bieten verspricht. Größte wissenschaftliche Bedeutung hat sie vor allem deshalb, weil sie uns zu der Überzeugung drängt, das Experiment so leiten zu können, daß sie neue wichtige Beiträge zur Vollendung der immer noch nicht ganz abgeschlossenen Quantentheorie zu bringen vermag. Die widerspruchslöse Verbindung von Quanten- und Relativitätstheorie ist ein solches Ziel, das nach einer Lösung verlangt, die zu geben die Kernphysik vielleicht imstande ist. Das Problem des Kernbaues ist jedoch kein nur relativistisches, wie man ursprünglich glaubte, obwohl die Bindungsenergie, die die Kernbestandteile zusammenhält, von der Größenordnung der Ruheenergie des Elektrons ist und es heute als sicher gilt, daß im Kern zunächst keine Elektronen enthalten sind, diese vielmehr erst im Augenblick des β -Zerfalls irgendwie entstehen. Damit sind wir bei dem zweiten wichtigen Punkt, an dem die Theorie Erwartungen an die Kernphysik stellt, für die es quantentheoretisch noch keinen befriedigenden Hinweis auf die Lösung gibt. Daß darüber hinaus noch die vorläufig vielleicht etwas vermessene Hoffnung besteht, experimentelle Unterlagen für eine Theorie der Struktur der Elementarteilchen zu erhalten, sei nur angedeutet. Auf die historische Entwicklung näher einzugehen, ist im Rahmen dieses Aufsatzes nicht möglich. Wir müssen uns auf eine knappe Darstellung des experimentell und theoretisch Gesicherten beschränken.

Elektrische Ladung und Masse bestimmen die Struktur des Kerns. Die Kernladungszahl ist immer ein ganzes Vielfaches des elektrischen Elementarquantums, normalerweise ist sie identisch mit der Anzahl der Elektronen in der Hülle. Da deren Ladung das zur Kernladung entgegengesetzte Vorzeichen trägt, ist das Gesamtatom für gewöhnlich nach außen elektrisch neutral.

Die Kernmasse ist immer nahezu ein ganzes Vielfaches der Masse des Wasserstoffkerns. Die praktisch für ein Element im Gebrauch befindlichen chemischen Atomgewichte sind Mittelwerte, die aus den verschiedenen Gewichten der Isotopen, aus denen sich das Element zusammensetzt, resultieren. Chemisch sind die Isotope nicht trennbar, das Mischungsverhältnis der Komponenten ist in der Natur fast immer dasselbe, so daß die praktischen Atomgewichte auch tatsächlich eine allgemeine Bedeutung haben. Diese chemischen Atomgewichte interessieren uns hier jedoch nicht, wir meinen in Zukunft immer das Atomgewicht der reinen isotopen Atome. Diese Kerngewichte sind nicht ganz streng ein ganzzahliges Vielfaches des Protonen-(Wasserstoffkern-)Gewichts. Ein Betrag bis zu etwa einem Prozent fehlt immer gegenüber dem arithmetisch ganzen Vielfachen. Dieser Massendefekt spielt eine außerordentlich wichtige Rolle sowohl für die Theorie als auch in allen Projekten und Spekulationen über die technische Verwendbarkeit der „Atomenergie“. Der Massendefekt ist nämlich ein Maß für die Bindungsenergie der Kernbestandteile untereinander. Jede Masse ist äquivalent mit einer bestimmten Energie. Masse ist gewissermaßen nur eine besondere Erscheinungsform der Energie. Damit ein zusammengesetztes Gebilde wie der Atomkern stabil sein kann, muß seine Gesamtenergie kleiner sein als die der Summe der freien Bestandteile entsprechenden Energiebeträge, mit anderen Worten, bei seiner Bildung muß er Energie abgegeben haben, und das beobachten wir dann als Massendefekt. Um einen Kern zum Zerfall zu bringen, muß ihm also Energie zugeführt werden. Diese Energiebeträge liegen in der Größenordnung einiger 10^{-5} erg; um sie kinetisch zu verifizieren, müßte man z. B. ein Elektron mit einer Spannung von etwa 10 Millionen Volt beschleunigen.

Zur Beschreibung eines Kerns gehören weitere Angaben, wie Dreh- und magnetisches Moment, Volumen und Lage energetisch angeregter Zustände, von denen wir nur die beiden letzten kurz betrachten wollen.

Das Volumen ist, wie wir bereits gesehen haben, nur zu einem ganz verschwindend geringen Bruchteil mit Materie angefüllt, das andere ist nur der räumlich zur Geltung kommende Wirkungsquerschnitt der Kernkräfte. Dieser Wirkungsquerschnitt tritt auch bei den experimentellen Untersuchungsmethoden, die meist im Hineinschießen von Partikeln in das Atom- bzw. Kernvolumen bestehen, in Erscheinung. Man versteht darunter den fiktiven Querschnitt, den der Atomkern haben müßte, damit ein hineingeschleudertes Teilchen einen Kernprozeß auslöst. Diese Wirkungsquerschnitte hängen etwas von der Art der hineingeschossenen Teilchen und ihrer Geschwindigkeit ab. Man kann aus ihnen auf einen geometrischen

Kernquerschnitt von etwa 10^{-23} bis 10^{-24} cm schließen, eine wahrhaft außerordentlich winzige Ausdehnung.

Die aus dem Kern gelegentlich spontan oder künstlich angeregte Emission von sehr kurzweiliger elektromagnetischer Wellenstrahlung erweist sich als diskontinuierlich, ihr Spektrum besteht also aus diskreten Linien, und das besagt — genau wie bei der Entstehung der optischen Spektren in der Atomhülle — Existenz bestimmter und allein möglicher Energiezustände ohne kontinuierliche Übergänge im Kerninnern, ihre Energiedifferenz entspricht der Wellenlänge der emittierten γ -Strahlung (die Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung, etwa des Lichtes, ist um so kürzer, je energiereicher die Quanten sind, die sie bilden). Ihre hohe Frequenz wird sofort verständlich, wenn man bedenkt, daß die Eigenfrequenzen der im Kerninneren schwingenden Ladungsträger infolge ihrer wesentlich stärkeren Bindungsenergie viel höher sind als die der Hüllenelektronen. Auf ähnliche Vorstellungen führen auch gewisse Erscheinungen des radioaktiven α -Zerfalls.

Wir haben bisher keine speziellen Annahmen über die Natur der Kernbausteine gemacht. Bei natürlichen (radioaktiven) und künstlichen Kernumwandlungen treten Protonen (= Wasserstoffkerne), Neutronen, Elektronen und Positronen neben Lichtquanten auf. Neutronen sind Elementarteilchen, die nahezu die gleiche Masse wie die positiven Protonen haben, jedoch keine elektrische Ladung besitzen. Positronen stellen das positive Gegenstück zu den negativen Elektronen dar. Ihre Existenz ist jedoch im freien Zustand auf die Beteiligung an einigen wenigen Prozessen beschränkt. Entdeckt hat sie Anderson 1933 in der Höhenstrahlung, einer aus dem Weltenraum einfallenden, ganz außerordentlich energiereichen Strahlung, die auf ihrem Weg durch die Erdatmosphäre die verschiedensten sekundären Effekte auslöst, darunter auch Atomkerne zum Zerfall bringt. Positronen treten auch als Zerfallsprodukt bei der künstlich angeregten Radioaktivität auf. Schließlich entstehen sie gleichzeitig mit Elektronen („Paarbildung“), wenn γ -Strahlung, deren Energie einen gewissen Mindestbetrag überschreiten muß, in Materie absorbiert wird. Die Energie der immateriellen γ -Strahlung materialisiert sich zum äquivalenten Teil in den Zwilling Elektron-Positron, der überschüssige Energiebetrag erscheint als kinetische Energie der beiden Teilchen. Im Kern sind jedoch nur Protonen und Neutronen fertig gebildet vorhanden. Elektronen und Positronen entstehen erst im Augenblick der Emission, denn bei künstlichen Kernzerlegungen treten immer nur schwere Teilchen auf. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Anhaltspunkten, die alle in die gleiche Richtung deuten. Allein die gleichzeitige Existenz von Elektronen und Positronen in einem so kleinen Raum, wie ihn der Atomkern darstellt, ist unwahrscheinlich, da sie sich sofort in einem der Paarbildung entgegengesetzten Vorgang unter Entstehung von γ -Strahlung vernichten würden. Es sind also keine eigentlichen Kernbausteine, sie entstehen zweifellos erst nach Ablauf der Kernreaktion. Die theoretischen Schwierigkeiten bei der Beschreibung des Vorgangs sind bisher noch nicht restlos überwunden.

Vermutlich kommt dem entstehenden Elektron — ebenso wie der bei dieser Gelegenheit häufig auftretenden γ -Strahlung — die Rolle zu, beim Energieausgleich zwischen den Anfangs- und Endprodukten mitzuwirken.

Die theoretischen Schwierigkeiten des β -Zerfalls sind vor allem energetischer Art. Es scheint Energie spurlos zu verschwinden, was natürlich im Gegensatz zu dem sonst allgemein geltenden Prinzip der Erhaltung der Energie stehen würde. Als Ausweg hat Pauli ein Teilchen eingeführt, das den vermißten Energiebetrag forträgt. Allerdings ist es bisher noch nie beobachtet worden. Das Teilchen darf, um keine Widersprüche mit anderen experimentellen Feststellungen hervorzurufen, keine elektrische Ladung und keine Masse besitzen, die größer als die Elektronenmasse ist. Auch zu merklicher Wechselwirkung mit Materie darf das „Neutrino“ nicht fähig sein, da es sonst kaum der Beobachtung entgangen wäre.

Die Durchführung der Theorie läßt den β -Zerfall annäherungsweise verständlich werden. Dabei wird allerdings zweifelhaft, ob es sich beim Neutrino überhaupt um ein Teilchen handelt, das im Hinblick auf seine Eigentümlichkeiten noch als materiell angesprochen werden darf.

Was hält die Kernbausteine zu einem festen Ganzen zusammen? Sind es die gleichen Kräfte, die Protonen mit Protonen, Neutronen mit Neutronen und Protonen mit Neutronen verbinden, oder beruht die Wechselwirkung auf verschiedenem Ursprung? Wir wissen nicht viel über die Natur dieser Kräfte, obwohl wir uns über ihre Größe zuverlässige Vorstellungen machen können. Vermutlich wird die Festigkeit der Bindung wesentlich durch Kräfte zwischen Proton und Neutron bedingt, während die Kräfte zwischen gleichen Teilchen eine weniger wichtige Rolle spielen. Experimentell äußert sich das dadurch, daß die stärkste Bindung — größte Stabilität — bei Kernen beobachtet wird, deren Protonen- und Neutronenzahl gleich ist.

Man spricht oft von einer „Austauschkraft“, die im Kern wirksam ist und die mit einem Ladungsaustausch zwischen Proton und Neutron zusammenhängt. Vermutlich kann sich ein Proton durch Absorption eines Elektrons in ein Neutron und ein Neutron durch Absorption eines Positrons in ein Proton verwandeln. Dadurch ist es z. B. denkbar, daß ein Neutron durch Emission eines Elektrons in ein Proton übergeht und ein anderes benachbartes Proton dieses Elektron sofort absorbiert, wobei es zu einem Neutron wird; oder ein Proton emittiert ein Positron, verwandelt sich also in ein Neutron, und ein anderes Neutron wird durch Aufnahme dieses Positrons zu einem Proton. Neutron und Proton haben also im Endergebnis ihre Plätze getauscht, sonst ist alles unverändert. Dieser Ladungstausch muß mit einer Kraftwirkung verbunden sein, wie es analog bei der Molekülbildung der Fall ist, wo ein periodischer Platzwechsel der Hüllenelektronen die Atome zum Molekül zusammenschließt. Ähnliche Prozesse können sich vielleicht auch zwischen Neutronen und Protonen allein abspielen. Es erscheint also plausibel, Austauschkräfte und zwischen gleichsinnig geladenen Teilchen

elektrostatische Abstoßung als einzig wirksame Kräfte beim Kernaufbau anzunehmen.

In diesem Zusammenhang wird die Frage akut, ob Proton und Neutron nun wirklich die letzten Elementarbausteine des Aufbaues der Materie sind. Vielleicht sind sie nur Erscheinungsformen eines einzigen schweren Urpartikels, die durch die Wechselwirkung mit den leichten Partikeln Elektron und Positron ineinander übergeführt werden können. Wir stehen heute jedoch erst ganz am Anfang einer Theorie der Elementarteilchen und wissen nicht einmal, ob die Quantenmechanik in diesem Gebiet noch Gültigkeit beanspruchen darf.

Künstlich kann man Atomkerne zum Zerfall bringen — grob ausgedrückt, sie zertrümmern —, wenn man schwere Teilchen, z. B. Neutronen oder Protonen, in sie hineinschießt. Im Endeffekt handelt es sich um künstliche Kernumwandlungen, da die Endprodukte wieder Kerne anderer Elemente darstellen: die moderne Verwirklichung des Traumes der alten Alchimisten und Goldmacher! Das Teilchen „Geschoß“ verbindet sich dabei mit einem der Trümmerstücke oder fliegt mitunter auch wieder allein bei der Kernexplosion heraus. Wenn der Prozeß in der Aussendung der vom radioaktiven Zerfall her bekannten Teilchen besteht, spricht man von künstlicher Radioaktivität, wobei der Zerfall der bombardierten Kerne durchaus nicht plötzlich zu erfolgen braucht, sondern sich oft über längere Zeit erstreckt, genau wie wir es auch bei den auf natürliche Weise radioaktiven Substanzen kennen. Solche Kernumwandlungen kann man heute in großer Zahl machen, am bekanntesten ist wohl die von Rutherford als erste gefundene, bei der durch Beschuß von Stickstoffatomen mit α -Teilchen Sauerstoff und Wasserstoff entsteht.

In der Natur kennen wir bisher drei Vorgänge, bei denen Kernumwandlungen auftreten: Radioaktivität, Höhenstrahlung und Energieerzeugung in den Sternen. Auf Radioaktivität und Höhenstrahlung sind wir schon einige Male bei unserem Streifzug durch die Kernphysik gestoßen. Der ungeheure Energiebedarf, den die Sterne zur Aufrechterhaltung ihrer Strahlung in den Weltenraum hinaus brauchen, kann nur aus Kernreaktionen stammen, da alle anderen sonst denkbaren Energiequellen nicht imstande sind, die benötigten Mengen über die Lebensdauer der Sterne von etwa 10^{10} bis 10^{11} Jahren hinaus zu liefern. Um eine Vorstellung von diesen Beträgen zu vermitteln, sei bemerkt, daß die Sonne in der Sekunde etwa 10^{26} Kalorien abgibt, das entspricht etwa $5 \cdot 10^{23}$ PS, wovon rund $2 \cdot 10^{14}$ PS die Erde erreichen, der größte Teil also in den Raum verstrahlt wird. Der gesamte technische Energieaufwand der Menschheit für Wirtschaft, Verkehr, Haushalte usw. ist hiergegen ein völlig bedeutungsloser Bruchteil, und dabei ist die Sonne noch ein recht bescheidener Strahler, der von andern Sternen gelegentlich um das Hunderttausendfache übertroffen wird.

Die Energiequelle sind Kernreaktionen, bei denen schwerere Elemente aus Wasserstoff aufgebaut werden und die dem Massendefekt entsprechende

Energie frei wird. Wenn die Sterne ursprünglich aus Wasserstoff allein bestanden haben, kann fast 1% ihrer Gesamtmasse in Strahlungsenergie umgewandelt werden, und das reicht, um sie 10^{11} Jahre leuchten zu lassen. Unter den im Sterninnern herrschenden Bedingungen scheint eine komplizierte Kette von Prozessen den Hauptanteil der Energieerzeugung zu liefern, bei denen außer dem Ausgangsmaterial Wasserstoff auch Stickstoff und Kohlenstoff als Katalysatoren und Zwischenprodukte eine Rolle spielen und als Endprodukt schließlich Helium entsteht.

Stärkstes öffentliches Interesse und größte wirtschaftliche und politische Bedeutung hat die Kernphysik durch die Nutzbarmachung ihrer Entdeckungen für technische, insbesondere auch militärische Zwecke gefunden. Der Grund ist ohne weiteres ersichtlich, wenn man bedenkt, daß sich durch Kernprozesse aus einem Kilogramm Materie etwa 25 Milliarden Kilowattstunden herausholen lassen, während die gleiche Menge etwa als Kohle bei der bisherigen Art der Verwertung nur etwa 9 Kilowattstunden ergibt. Die Möglichkeit, Kernenergie freizumachen, ist schon seit langer Zeit bekannt, bis vor wenigen Jahren mußte jedoch ein Energieaufwand zur Auslösung der Reaktion betrieben werden, der weit höher war als der freigemachte Betrag, eine wirtschaftlich natürlich völlig unrentable Angelegenheit.

Aussicht auf technische Bedeutung bekamen die Kernprozesse erst, als es gelang, sogenannte Kettenreaktionen auszulösen, bei denen nach einem einmal vorgenommenen Anstoß die auslösende Strahlung selbst immer wieder entsteht und den Ablauf der Reaktion weiter aufrechterhält.

Die ersten praktischen Anwendungen sind mit Uran gemacht worden, von dem man mehrere Isotope kennt. Am häufigsten ist das Uran mit dem Atomgewicht 238; nicht ganz 1% einer Uranmenge besteht aber aus einem etwas leichteren Isotop ($A=235$), das bei der Atombombe und den mit Atomenergie betriebenen Maschinen die entscheidende Rolle spielt. Schießt man in einen solchen Kern Neutronen, so wird er unter Freimachung einer großen Energiemenge zerspalten, und gleichzeitig werden dabei neue Neutronen ausgelöst, die den Prozeß nun fortsetzen. Eine größere Menge Uran 235 zerspaltet sich in einer heftigen Explosion sogar selbst (Atombombe).

In einem mit Atomenergie betriebenen Motor wird ein Teil der Neutronen nicht zur Aufrechterhaltung des Neutronen liefernden Prozesses verwendet, sondern dient zur Bombardierung von Uran 238, wobei das in der Natur nicht vorkommende künstliche Element 93 (Neptunium) entsteht, das von Hahn und Meitner kurz vor dem Kriege gefunden worden ist und das sich unter Aussendung von Elektronen in ein anderes ebenfalls nicht natürliches Element Plutonium verwandelt. Dabei müssen die schnellen Neutronen der zerfallenden Uran-235-Kerne stark verlangsamt werden, da ihre Eindringfähigkeit in die Uran-238-Kerne bei einer bestimmten niedrigeren

Geschwindigkeit ein Maximum ist. Das Plutonium kann ebenso leicht gespalten werden wie das Uran 235.

Wenn die Energiequelle technisch brauchbar sein soll, muß sie regulierbar sein. Bei einer Atombombe ist es erwünscht, die gesamte potentiell zur Verfügung stehende Energie in einem kurzzeitigen, explosionsartigen Vorgang zur Wirkung zu bringen. Für technische Zwecke, etwa zum Antrieb eines Motors, muß die verfügbare Energie über einen langen Zeitraum gleichmäßig verteilbar sein. Das Problem war vor dem Ende des Krieges sowohl in Deutschland wie auch in Amerika grundsätzlich gelöst.

Die Energie liefernde Maschine besteht im wesentlichen aus einer Anordnung von Stäben aus Uran 238, unter dem ein geringer Prozentsatz Uran 235 enthalten ist. Zwischen ihnen befindet sich Kohlenstoff, der die Aufgabe hat, die emittierten Neutronen zu bremsen, bevor sie in die Uranstäbe zurückkehren, um Plutonium zu erzeugen. Die freiwerdende Energie führt zu einer Erwärmung des Kohlenstoffblocks, in dem die Uranstäbe stecken, so daß man vorbeißießendes Wasser erhitzen kann; Energieerzeugung und damit Temperatur sind von dem Mengenverhältnis von Uran 238 zu Uran 235 abhängig, sie kann leicht durch Beschleunigung der Energieproduktion zur Erzeugung riesiger Dampfdrucke erhöht werden. Die Regulierung der Reaktionsgeschwindigkeit und damit auch der freiwerdenden Energie erfolgt durch Kadmiumstäbe, die mehr oder weniger tief in den Kohlenstoffblock zwischen die Uranstäbe getaucht werden. Kadmium hat die Eigenschaft, Neutronen zu absorbieren und sie so dem Reaktionsprozeß zu entziehen.

Die ersten Atommotoren sind versuchsweise bereits im Betrieb. Sie sind noch recht umfangreiche und schwerfällige Anlagen. Amerikanische Kernphysiker rechnen jedoch damit, wenigstens Schiffe und Lokomotiven in Kürze damit betreiben zu können.

Sowohl die Kernphysik selbst wie auch ihre technischen Anwendungen stehen erst am Beginn der Entwicklung. Es sind Reaktionen denkbar, die noch weit höhere Energiemengen freimachen, als es beim Uran möglich ist. Sie liegen im Bereich der leichten Kerne. Bisher ist nur der erste Schritt in dieser Richtung getan.