©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Fortschritte in der künstlichen Atomumwandlung.

Von Prof. Dr. Gustav Ortner.

Vortrag, gehalten am 11. Dezember 1940.

Nach den gegenwärtigen — durch das Experiment wohlbegründeten — Vorstellungen, ist das Atom ein aus schwerer Masse und elektrischer Ladung zusammengesetztes Gebilde. Im einzelnen ist die Masse und die positive Ladung, die im Atom nur an die schwere Masse gebunden vorkommt, in einem verhältnismäßig kleinen Teil des Gesamtatoms konzentriert, dem sogenannten Atomkern. Nehmen wir für diesen etwa Kugelform an — seine wahre Gestalt kann davon mehr oder weniger abweichen — so liegen die Atomkerndurchmesser zwischen etwa 3 bis 20×10^{-13} cm Durchmesser ($1 \times 10^{-13} = 0{,}0000000000001$). Der Durchmesser des Gesamtatoms beträgt rund 10^{-8} cm und etwas darüber. Der Zwischenraum (Atomhülle) ist mit der negativen elektrischen Ladung ausgefüllt, allerdings mit großer Raumverschwendung. Diese negative Ladung tritt ohne Bindung an schwere Masse in Form der negativ-elektrischen Elementarquanten (Elektronen) auf. Die Zahl dieser Elektronen ändert sich von Element zu Element: bw. ist beim

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Wasserstoff nur ein Elektron vorhanden, bei dem schwersten Element Uran sind es hingegen 92. Diese Elektronen sind nicht gleichmäßig über den Raum verteilt, sondern in Gruppen (Elektronenschalen) zusammengefaßt, die durch relativ große von Elektronen freie Räume voneinander getrennt sind.

Eine Atomumwandlung setzt nun immer eine Veränderung des Atom-Kernes voraus. Ein Mehr oder Weniger an Elektronen der Atom-Hülle macht das Atom nur nach außen elektrisch geladen (Ion), ohne daß dadurch die Art des chemischen Elementes geändert würde.

Um eine solche Atomumwandlung, oder wie der heute gangbare Terminus lautet — Atomkernreaktion — herbeizuführen, müssen die Atomkerne in Kontakt gebracht werden, ähnlich wie dies bei chemischen Reaktionen mit den Gesamtatomen geschieht. Bei den chemischen Reaktionen treten nur einige ganz außen an der Peripherie des Atoms gelegene sogenannte Valenzelektronen in Wechselwirkung, was zur Molekülbildung führen kann. Weiter innen liegende Elektronen kommen sich auch bei den chemischen Reaktionen nicht genügend nahe, um einander in beobachtbarer Weise beeinflußen zu können. Schon gar nicht ist das für die Atomkerne möglich, da die beiden dazwischen liegenden Atomhüllen einen Kontakt der Kerne verhindern. Um letzteres zu erreichen, müßten zuerst sämtliche Elektronen der Hülle zumindestens bei einem der reagierenden Atome ent-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

fernt werden. Das ließe sich theoretisch durch sehr starke Erhitzung der Materie erreichen, aber eben nur theoretisch, denn schon bei den leichtesten Kernen wären dazu Temperaturen von etwa einer Million Grad notwendig, bei den schweren Kernen mehr als eine Milliarde Grad. Solche Temperaturen mögen im Inneren der Fixsterne vorkommen, dort könnten dann neben den gewöhnlichen chemischen Reaktionen auch Kernreaktionen vorkommen. Im Laboratorium hingegen ist derzeit die Herstellung so hoher Temperaturen unmöglich. Das ist auch der Grund, warum eine Elementverwandlung großen Stils im Sinne der Alchimisten des Mittelalters, die aus unedlen Metallen durch geheimnisvolle Praktiken (Stein der Weisen) einen Klumpen Gold zu machen hofften, auch heute noch nicht möglich ist.

Der moderne Forscher hat auf einem gänzlich anderen Wege echte Atomumwandlungen erzielen können, wobei ihm allerdings die Natur selber zu Hilfe kommen mußte. Sie gab ihm nämlich gewissermaßen nackte Atomkerne in die Hand, d. h. Atome ohne Elektronen. Die sogenannten α-Partikel, die von den radioaktiven Substanzen ausgesendet werden, sind die Atomkerne des Elementes Helium. Die α-Partikel haben aber noch eine zweite Eigenschaft, die sie überhaupt erst zu einer Kernreaktion befähigt, nämlich eine große Geschwindigkeit (etwa 10.000 km/sek.). Der Umstand, daß die Atome keine Elektronen haben, würde allein noch gar nicht ausreichen im Hinblick

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

auf die Möglichkeit einer Kernreaktion. Jeder Atomkern ist nämlich gegen einen anderen — bildlich gesprochen — durch eine mehr oder minder hohe Mauer abgeschlossen, die durch die elektrische Abstoßung zwischen elektrischen Ladungen gleichen Vorzeichens bedingt ist. Beide Kerne sind ja positiv geladen und in einem Abstand von etwa 10^{-12} cm würden sich bw. zwei Heliumkerne mit einer Kraft von etwa 1 kg abstoßen. Um diese Kraft zu überwinden, wäre wieder eine Erhitzung der Materie auf Millionen von Graden nötig. Dann würden die Kerne eine solche Geschwindigkeit erreichen, daß sie unter Überwindung dieser abstoßenden Kraft miteinander zur Berührung kommen könnten. Damit wäre dann auch die notwendige Voraussetzung für das Einsetzen einer Kernreaktion gegeben. Daher ist es als ein großer Glücksfall zu bezeichnen, daß uns die Natur in den α-Partikeln der radioaktiven Substanzen nicht nur reine Atomkerne liefert, sondern überdies noch mit großer Geschwindigkeit. So ist es erstmalig im Jahre 1919 dem verstorbenen englischen Physiker Lord Ernest Rutherford gelungen, den Stickstoff mittels der α-Partikel in Sauerstoff und Wasserstoff zu verwandeln. Das ist so zu verstehen: Die Kernreaktion geht in diesem Falle so vor sich, daß sich ein Stickstoffkern mit einem α-Partikel (Heliumkern) zu einem neuen Atomkern vereinigt. Dieser ist aber nicht beständig, sondern fällt in zwei neue Atomkerne auseinander, von denen der eine ein Sauerstoffkern, der andere ein Wasserstoffkern ist.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Man formuliert die Reaktion in der folgenden Weise:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

Hier bedeutet der obere Index jedesmal die sogenannte Massenzahl des betreffenden Atomkernes, d. h. die Zahl der elementaren Masseneinheiten, die er enthält, der untere Index die Zahl der in ihm enthaltenen positiven Ladungseinheiten (= der Zahl der Hüllenelektronen) des elektrisch neutralen Atoms. Die Summe der oberen Indizes und die der unteren Indizes muß immer auf beiden Seiten der Reaktionsgleichung dieselbe sein, in unserem Beispiel: $14 + 4 = 18$ auf der linken Seite, $17 + 1 = 18$ auf der rechten Seite, bzw. $7 + 2 = 9$ auf der linken und $8 + 1 = 9$ auf der rechten Seite. Man kann die Reaktion auch als mathematische Gleichung schreiben, muß dann aber die sogenannte Energietönung Q berücksichtigen, d. h. die Tatsache, daß im allgemeinen die Summe der Massen der reagierenden Atomkerne verschieden ist von der Summe der Massen der neuentstandenen Kerne:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He = ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H + Q$$

Ist die Summe der neuen Massen größer, so wurde bei dem Prozeß Energie aufgenommen, Q ist negativ und man spricht in Analogie zu den chemischen Prozessen von einem endothermen Prozeß, im entgegengesetzten Fall, wo also Q positiv ist, von einem exothermen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Prozeß. Meßbar ist diese Energietönung durch die kinetische Energie der an der Reaktion beteiligten Kerne. Man kann nämlich die obige Reaktion auch noch in der folgenden Weise schreiben:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He + E\alpha = ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H + Eo + E_H.$$

Hier bedeuten die neu hinzugekommenen Zeichen E_α, E_O, E_H die kinetischen Energien von α-Partikel, Sauerstoff- bzw. Wasserstoffkern. Dabei ist angenommen, daß sich der Stickstoffkern praktisch in Ruhe befindet vor Einsetzen der Reaktion. Man sieht, daß sich Q darstellt als: $Q = E_O + E_H - E\alpha$. Mißt man die kinetischen Energien und das ist experimentell möglich, so kennt man auch die Energietönung gemäß der eben hingeschriebenen Gleichung.

Gerade der Umstand, daß die neuentstandenen Kerne meist ebenso wie das α-Partikel im allgemeinen große kinetische Energien haben, ermöglichen ihre Beobachtung. Es gibt hier mehrere Methoden. Die am frühesten angewendete ist die Szintillationsmethode. Zinksulfid, dem winzige Mengen anderer Metallsulfide beigemischt sind, zeigt beim Auftreffen rasch bewegter elektrisch geladener Korpuskel an der Auftreffstelle einen Lichtblitz, der mit einer lichtstarken Lupe leicht beobachtet werden kann. So können bw. bei der oben besprochenen Kernreaktion die schnellen Wasserstoffkerne — auch Protonen genannt — auf einer mit einer

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

solchen Leuchtsubstanz bestrichenen Glasplatte aufgefangen und die beim Auftreffen hervorgerufenen Lichtblitze durch das Glas hindurch bequem gezählt werden. Auf diese Weise wird jede einzelne Kernreaktion registriert. Die schweren Kerne, die bei der Kernreaktion entstehen, übernehmen sehr viel weniger kinetische Energie und eignen sich im allgemeinen zur Beobachtung wesentlich schlechter. In neuerer Zeit ist es auch gelungen, die von einem einzelnen elektrischen Partikel in einem gasgefüllten elektrischen Kondensator (Ionisationskammer) erzeugte elektrische Ladung zu messen. Jedes schnellbewegte elektrisch geladene Partikel spaltet nämlich die Gasmoleküle in elektrisch geladene Atome (Ionen) auf, was als Ionisation des Gases bezeichnet wird. Die Ionen des Gases werden durch das angelegte elektrische Feld an die Elektroden des Kondensators geführt. Werden die Kondensatorelektroden über ein passendes elektrisches Meßinstrument miteinander leitend verbunden, so kann die durch das Partikel erzeugte Ionenmenge gemessen werden. Freilich ist diese Ladung so klein, daß erst die Anwendung besonderer Mittel bw. mehrstufige Elektronenröhrenverstärker an Stelle von G zum Ziel führt. Aus der Größe der Ladung läßt sich dann in eindeutiger und ziemlich genauer Weise die Größe der kinetischen Energie des in die Ionisationskammer eintretenden Partikels bestimmen. Eine andere und besonders eindrucksvolle Methode ist die Nebelkammer, die man dem englischen Physiker C. T. R.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Wilson verdankt. Auch sie beruht auf der Ionisationswirkung. In einer luftdicht abgeschlossenen meist zylindrischen Kammer aus durchsichtigem Material wird eine mit einem Dampf (meist Wasser oder Alkohol) gesättigte Gasmenge eingeschlossen. Wird nun das Volumen des Gas-Dampfgemisches so rasch vergrößert, daß während der Volumsänderung kein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfindet, so tritt in der Kammer Nebelbildung ein. Es zeigte sich nun, daß die Volumsänderung so abgestimmt werden kann, daß sich der Dampf nur an elektrisch geladenen Atomen — Ionen — kondensiert. Nun erzeugt aber jedes in der Kammer schnell bewegte Partikel längs seiner Bahn einen Ionenstreifen. Wird nun unmittelbar nach dem Durchgang des Teilchens die passende Volumsänderung vorgenommen, so schlagen sich die Tröpfchen auf den längs der Bahn liegenden Ionen nieder und bei geeigneter Beleuchtung wird die Bahn als weißer Nebelstreifen sichtbar. Mit dieser Methode wurde der überaus wichtige Nachweis erbracht, daß bei der Stickstoffumwandlung das α-Partikel tatsächlich in den Stickstoffkern aufgenommen wird und denselben nicht mehr verläßt. Vor diesem Ergebnis neigte man mehr zu der Ansicht, daß das α-Partikel gewissermaßen aus dem Stickstoffkern ein Proton herausschlägt ohne im Kern haften zu bleiben. Wäre diese Vorstellung richtig, so müßten nach dem Kernprozeß drei Partikel vorhanden sein. Das Nebelkammerbild zeigte jedoch nur

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zwei, die sich zwangslos als Sauerstoff- und Wasserstoffkern deuten ließen. Freilich so unmittelbar anschaulich und überzeugend die Nebelkammer Kernumwandlungen vor Augen führt, so mühsam und zeitraubend ist diese Methode. Bw. zeigten 30.000 Photographien mit im Ganzen 400.000 α-Partikeln erst acht Stickstoffumwandlungen. Diese ungewöhnliche Seltenheit von Kernreaktionen machte es ja überhaupt erst notwendig, neue Beobachtungsmethoden auszuarbeiten. Von vorneherein wäre es ja sehr naheliegend, einfach eine chemische Analyse des mit α-Partikeln bestrahlten Stickstoffs auszuführen. Da müßte man ja neben dem Stickstoff, der noch übrig ist, auch Sauerstoff und Wasserstoff finden. In Wahrheit liegt aber die Sache so, daß bei voller Ausnutzung der α-Partikel von einem Gramm Radium nach einjähriger Bestrahlungsdauer erst ein Milliardstel der Stickstoffatome in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt wäre. Das ist eine chemisch noch nicht nachweisbare Menge, ja sie ist nicht einmal spektroskopisch nachweisbar; es bleibt also vorläufig nichts anderes übrig, als die einzelnen Umwandlungsprozesse mit den oben geschilderten physikalischen Methoden zu beobachten. Es hat sich im Laufe der Zeit herausgestellt, daß fast alle leichteren Elemente mittels α-Strahlen umgewandelt werden können, genauer: alle Elemente bis Vanadium mit Ausnahme von Helium, Lithium, Beryllium, Kohlenstoff und Sauerstoff. Der leichtere der beiden neuentstehenden Atomkerne ist dabei jedesmal ein Proton.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Der schwerere hängt natürlich von der Art des mit α-Partikeln bestrahlten Elementes ab. Daß schwerere Kerne als Vanadium bisher nicht umgewandelt werden konnten, hat keinen prinzipiellen Grund, sondern rührt daher, daß die „Mauer", die durch die elektrische Abstoßung zwischen den Kernen aufgerichtet ist, von den aus den radioaktiven Substanzen kommenden α-Partikeln nicht überstiegen werden kann.

Eine Entdeckung von weittragendster Bedeutung wurde im Jahre 1933 im Pariser Radiuminstitut gemacht. Es stellte sich nämlich heraus, daß es noch eine andere Art von Kernreaktionen gibt, wenn leichte Atomkerne mit α-Partikeln bestrahlt werden. Bei dieser zweiten Art von Kernprozessen tritt statt eines Protons ein ganz neues vorher unbekanntes Partikel auf, das sogenannte Neutron. Seinen Namen verdankt es der Tatsache, daß es keine elektrische Ladung hat. Seine Masse ist nur ganz geringfügig größer als die des Protons, so daß erst auf Grund sehr präziser Messungen ein Massenunterschied festgestellt werden konnte. Es wurde so neben der bereits bekannten Stickstoffreaktion, bei der ein Proton entsteht, eine zweite gefunden entsprechend der Reaktionsgleichung:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{9}F + ^{1}_{0}n$$

Es entsteht also hier kein Sauerstoffkern, sondern ein Fluorkern, mit dem es allerdings, wie wir gleich sehen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

werden, eine besondere Bewandtnis hat. Vorerst aber noch ein kleiner Nachtrag über den Aufbau der Atomkerne. Nach der Entdeckung des Neutrons gab der Meister der theoretischen Physik in Deutschland W. Heisenberg die wesentlichen Züge des Aufbaues der Atomkerne. Demnach sind alle Kerne aus den zwei elementaren Bausteinen, dem Proton und dem Neutron, zusammengefügt und die Indizes in unseren Reaktionsgleichungen haben dann folgende einfache physikalische Bedeutung: Der obere Index, den wir als Massenzahl bezeichnet haben, ist nichts anderes als die Gesamtzahl der in dem Kern enthaltenen Bausteine Protonen und Neutronen zusammen, der untere Index gibt die Zahl der Protonen allein; sie ist gleich der Zahl der Hüllenelektronen, denn nur dann ist ja das Atom nach außen elektrisch neutral. Der Sauerstoffkern, der bei der ersten von uns besprochenen Reaktion entsteht, hat also 8 Protonen und 9 Neutronen. Einen solchen Kern gibt es auch ohne Kernreaktion in der Natur. Er ist ein Bestandteil der Luft. Allerdings die überwiegende Zahl aller Sauerstoffkerne nämlich 99.76% haben nur 8 Neutronen, aber es gibt 0.04% Kerne mit 9 und 0.20% mit 10 Neutronen. Gleich bleibt bei allen diesen Kernarten — man nennt sie die Isotypen des Sauerstoffs — die Zahl der Protonen, nämlich 8. Die Protonenzahl ist für die chemischen Eigenschaften des Elementes bestimmend, die Neutronenzahl hingegen nicht. Der bei der Neutronenreaktion entstehende Fluorkern hat die Massenzahl 17.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

In der Natur kommt aber stabil nur eine einzige Art von Fluorkernen vor u. zw. mit der Massenzahl 19. Demnach ist zu erwarten, daß der Fluorkern mit der Maßenzahl 17 nicht beständig ist und tatsächlich zeigt das Experiment, daß der Fluorkern eine Korpuskularstrahlung aussendet u. zw. positiv geladene Elektronen. sogenannte Positronen. Durch die Abgabe eines Positrons wird im Kern ein Proton in ein Neutron verwandelt, der untere Index wird um 1 kleiner also 8, d. h. aus dem Fluorkern ist ein Sauerstoffkern geworden. Der obere Index bleibt 17. Wir haben also als Endresultat wieder einen Sauerstoffkern mit der Massenzahl 17 aber statt des einen Protons ein Neutron und ein Positron. Die Reaktionsgleichung lautet:

$$ {}^{17}_{9}F \longrightarrow {}^{17}_{8}O + e+. $$

Es ist so gelungen, durch Kernreaktionen auf künstlichem Wege radioaktive Kerne zu erzeugen u. zw. auch bei den leichtesten Elementen, während die natürliche Radioaktivität auf die Elemente mit den größten Atomgewichten beschränkt bleibt. Solche künstlich radioaktive Kerne sind heute bereits in großer Zahl im ganzen Bereich des periodischen Systems der Elemente bekannt. Von nicht geringerer Bedeutung als die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität ist die des Neutrons. (Das Positron war bereits kurze Zeit früher in der Höhenstrahlung entdeckt worden.) Das Neutron ist gelegentlich als Element mit der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ordnungszahl Null bezeichnet worden, da es ja kein Hüllenelektron besitzt. Das ist mehr eine Wortspielerei, jedenfalls aber ist es ein instabiles Element, das nach Aufhören der Kernreaktion, durch die es erzeugt wird, verschwindet u. zw. durch Anlagerung der Neutronen an vorhandene Atomkerne. Die Neutronen können allerdings vor dieser Anlagerung noch lange Wege auch in festen Substanzen zurücklegen u. bw. viele Zentimeter Blei durchsetzen ähnlich wie die γ-Strahlen der radioaktiven Substanzen. Freilich tritt bei diesem Durchgang durch Materieschichten eine Geschwindigkeitsabnahme der Neutronen ein, besonders in den Substanzen, die leichte Atome bw. Wasserstoff enthalten. Durch elastische Stöße mit Wasserstoffkernen gibt ein Neutron im Mittel pro Stoß die Hälfte seiner kinetischen Energie an das Wasserstoffatom ab. Das führt schließlich dazu, daß Neutronen in Substanzen, die viel Wasserstoff enthalten, auf die gleiche Geschwindigkeit kommen, wie die Moleküle der Substanz bei der betreffenden Temperatur gemäß ihrer thermischen Bewegung. Diese sogen. langsamen „thermischen" Neutronen könnte man als eine Gaszumischung zu der Substanz auffassen, allerdings mit einer Besonderheit. Würde die Nachlieferung schneller Neutronen aufhören, so würden die langsamen Neutronen in Bruchteilen einer Sekunde — etwa $^1/_{10\,000}$-Sekunde — verschwunden sein. Sie verbinden sich nämlich mit den Protonen zu einem neuen Element, dem schweren

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Wasserstoff (auch Deuterium genannt), der auch unabhängig von Kernreaktionen in sehr geringer Menge in der Natur vorkommt. Diese langsamen Neutronen sind ein besonders wertvolles Reagens zur Erzielung von Kernreaktionen. Für sie haben die Atomkerne keine „Mauer" wie für die geladenen α-Partikel, da sie eben elektrisch nicht geladen sind und folglich auch nicht durch die positive elektrische Ladung des Atomkernes abgestoßen werden. Daher gelangen auch Neutronen mit thermischen Geschwindigkeiten an die Atomkerne heran, ja die Wahrscheinlichkeit, daß sie von Atomkernen eingefangen werden und so zu einer Kernreaktion führen, ist für diese langsamen Neutronen oft sogar wesentlich — bis 10.000mal — größer als für die schnellen Neutronen und auch für schnelle geladene Partikel.

Es ist einleuchtend, daß Wege gesucht wurden, die Menge der umgewandelten Substanz zu erhöhen. Die Zahl der α-Partikel, die von den praktisch zur Verfügung stehenden radioaktiven Substanzmengen emittiert wird, scheint zwar auf den ersten Blick sehr groß zu sein — 1 Gramm Radium sendet pro Sekunde etwa 37 Milliarden α-Partikel aus — aber wenn man diese Zahl vergleicht mit der Zahl der Elektronen, die bw. in einer Radioröhre von der Kathode zur Anode wandert, erscheint sie sehr gering. In einer Radioröhre fließt ein Strom von einigen Milliampere, d. h. es gehen pro Sekunde etwa 10.000 Billionen Elektronen von der Kathode zur Anode. Leider kann man mit Elektronen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

noch dazu von so kleiner Geschwindigkeit keine Kernumwandlungen in Gang setzen. Das ist bisher nur mit Atomkernen möglich. Diese müßte man auf künstlichem Wege in möglichst großen Mengen herstellen. Dieser Weg wurde beschritten und hat in der letzten Jahren zu großen Erfolgen geführt.

Schon im vorigen Jahrhundert wurde eine Strahlenart bekannt, die mit den α-Partikeln der radioaktiven Substanzen eine weitgehende Ähnlichkeit hat: die Kanalstrahlen. Sie entstehen bei der elektrischen Entladung in hochverdünnten Gasen (Geißler'sche Röhren). Im allgemeinen sind diese Kanalstrahlen durch das elektrische Feld beschleunigte Gasionen, die noch mehr oder weniger Hüllenelektronen haben. Nimmt man aber als Füllgas bw. Wasserstoff, dessen Ion der nackte Wasserstoffkern, das Proton, ist, so haben wir in den Wasserstoffkanalstrahlen die gewünschten Atomkerne. Bei Heliumfüllung ist es schon etwas schwieriger in der elektrischen Gasentladung die reinen Atomkerne zu erzeugen. Helium hat ja von Natur zwei Hüllenelektronen; oft gibt das Heliumatom in der Gasentladung nur ein Elektron ab, unter geeigneten Bedingungen können auch beide Elektronen abgegeben werden. In diesem letzteren Falle haben wir dann also reine Heliumatomkerne, die eine gewisse von der an der Entladungsröhre liegenden Spannung abhängige Geschwindigkeit haben, also Strahlen, die sich von den α-Partikeln der radioaktiven Substanzen nur mehr in der Größe der Geschwindigkeit unterscheiden. Man

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

kann ungefähr sagen, daß die α-Partikel aus den radioaktiven Substanzen rund 10mal größere Geschwindigkeiten haben als man in gewöhnlichen Kanalstrahlröhren bis vor kurzem erzeugen konnte. Diese wesentlich kleinere Geschwindigkeit macht sie aber gerade zu Kernumwandlungsprozessen ungeeignet. Man war daher vor die Aufgabe gestellt, Kanalstrahlröhren und Hochspannungsanlagen auszudenken, mit denen Protonen und α-Partikel von wesentlich größeren Geschwindigkeiten erzeugt werden können. Dieses Ziel wurde auf mehreren Wegen angestrebt und auch bereits zum größten Teil erreicht.

Erzeugung hoher elektrischer Spannungen.

Das gangbarste Mittel zur Erzeugung hoher Spannungen, das in der elektrotechnischen Praxis ziemlich allgemein verwendet wird, ist der Wechselstromtransformator. In der Elektrotechnik werden heute bereits Transformatoren gebaut, die eine Spannung von 220 Volt auf der Eingangsseite in eine von 1 Million Volt auf der Ausgangsseite verwandeln. Solche Transformatoren sind bw. zur Prüfung der elektrischen Durchschlagsfestigkeit von Isolatoren in mehreren Industrielaboratorien in Verwendung. Diese Transformatoren eignen sich nun für die Erzeugung und Beschleunigung der Kanalstrahlen nicht so ohne weiteres, denn an jedem Transformatorpol entsteht ja eine Wechselspannung, d. h. der Spannungswert

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

schwankt an jedem Pol 50mal oder noch öfter in der Sekunde zwischen plus 1 Million und minus 1 Million Volt. Wir benötigen aber eine konstante hohe Spannung — das Ideal wäre eine Akkumulatorenbatterie von 1 Million Volt, leider eine praktische Unmöglichkeit. Einen Ausweg brachte der Kaskadengenerator. Hier wird von einem verhältnismäßig kleinen Transformator mit einer Ausgangsspannung von bw. 100.000 Volt eine Serie von Kondensatoren aufgeladen, wobei durch passend eingebaute Schalter (Glühventile) dafür gesorgt wird, daß jeder Kondensator in den verschiedenen Wechselspannungsphasen immer in der gleichen Richtung aufgeladen wird. So wird schließlich jeder der Kondensatoren auf 100.000 Volt aufgeladen. Durch geeignete Anordnung kann jeder Kondensator sogar auf 200.000 Volt aufgeladen werden. Sind diese Kondensatoren in Reihe geschaltet, so liegt zwischen dem ersten und letzten Transformator schließlich eine Spannung von so viel mal 100.000 oder 200.000 Volt als Kondensatoren aufgeladen wurden, und zwar ist diese Spannung mit großer Annäherung eine Gleichspannung mit, bei richtiger Wahl der Größe der Kondensatoren, nur kleinen Schwankungen um einen Mittelwert. Diese kleinen Schwankungen sind verursacht durch die von den Kondensatoren an den Verbraucher abgegebene Ladung. Nach diesem Verfahren sind bisher Spannungen bis zu 2 Millionen Volt erzielt worden.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die zweite Methode zur Erzeugung von Höchstspannungen, die hinsichtlich Konstanz der Spannung die erste vielleicht noch übertrifft, beruht auf dem Prinzip der Elektrisiermaschine. Sie wurde erstmalig von amerikanischen Forschern mit größtem Erfolg realisiert.

Auf einer elektrisch isolierenden Säule ist eine Hohlkugel aus leitendem Material gelagert, an der Basis der Säule ebenso wie an ihrem oberen Ende ist eine durch Elektromotoren getriebene Rolle angebracht, über die ein geschlossenes Band aus isolierendem Stoff läuft. An der Basis wird auf dieses Band elektrische Ladung von einem kleinen Transformator in Gleichrichterschaltung aufgespritzt. Diese Ladung wird nun durch das dauernd umlaufende Band in das Innere der Kugel geführt und dort an die Kugel abgegeben. Das geht so lange weiter, bis die elektrische Ladung auf der Kugel so groß geworden ist, daß die resultierende elektrische Feldstärke an der Kugeloberfläche in Luft von Atmosphärendruck den Wert 30.000 Volt/cm erreicht hat. Wird dieser Wert überschritten, so gibt die Kugel alle weitere Ladung an die Luft ab. Wie sich aus den elementaren Gesetzen der Elektrostatik ergibt, muß die Kugel um so größer sein, je höher die Spannung und je größer gleichzeitig auch die Ladung darauf werden soll. Bisher sind solche Anlagen für 1 Million Volt gebaut und bereits zu kernphysikalischen Untersuchungen mit Erfolg verwendet worden. Durch einen Kunstgriff kann man

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sogar, ohne die Dimensionen der Kugeln zu vergrößern, wesentlich höhere Spannungen erzielen, wenn man nämlich den ganzen elektrostatischen Generator in einen Hochdruckkessel stellt. Dadurch wird nämlich der oben angegebene Grenzwert der elektrischen Feldstärke an der Kugeloberfläche, der für normalen Luftdruck gilt, wesentlich erhöht. Auf diese Weise konnten Anlagen für 2 Millionen Volt ausgeführt werden, die gleichfalls bereits ihre Brauchbarkeit für kernphysikalische Untersuchungen erwiesen haben. Die größte derartige Anlage, die sich in Amerika befindet, hat Kugeln von 5 Meter Durchmesser, die auf 7 Meter hohen Säulen liegen. (Es sind hier zwei Generatoren gebaut, der eine für positive, der andere für negative Spannung.) Das Innere der Kugel ist ein Laboratorium mit einem kleinen elektrischen Kraftwerk zur Stromversorgung, so daß auch während des Betriebes Personen im Inneren der Kugel die erforderlichen Arbeiten vornehmen können. Die Bänder — es sind deren mehrere — sind je 1 Meter breit und laufen mit einer Geschwindigkeit von 20 m/sek. über die Rollen. Es leuchtet unmittelbar ein, daß pro Sekunde um so mehr Ladung auf die Kugel gebracht werden kann, je größer die Zahl der Bänder, ihre Breite und ihre Geschwindigkeit ist. Die maximal erreichbare Spannung an der Kugel beträgt etwa 3 Millionen Volt. Diese Anordnung ist freilich einstweilen nur Schauobjekt, das in der Kernphysik noch keine Anwendung gefunden hat, weil es bisher nicht gelungen ist, die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dazu gehörige Kanalstrahlenröhre zu bauen. Damit kommen wir zum zweiten Teil des Problems: die Kanalstrahlenröhre.

Bei den hier nötigen hohen Beschleunigungsspannungen muß die Kanalstrahlenröhre in zwei Teile getrennt werden, die eigentliche Kanalstrahlenröhre (Ionenquelle), in der die Protonen, Deuteronen oder Heliumkerne erzeugt werden und an der zu diesem Zwecke nur eine Spannung von einigen 10.000 Volt liegt und die sogenannte Nachbeschleunigungsröhre, in die die Kerne aus der Ionenquelle eintreten. An dieser Nachbeschleunigungsröhre liegt die hohe Spannung, die durch die früher geschilderten Höchstspannungsgeneratoren erzeugt wird. Aus dem von der Hochspannungsseite abgewandten Teil der Röhre treten die Kerne dann mit großer Geschwindigkeit aus und können bw. zur Herbeiführung von Kernreaktionen dienen. Durch diese Beschleunigungsröhre können bei sorgfältiger Konstruktion Ströme bis zu 1 MA gehen, das sind Partikelmengen, wie sie etwa von 100 bis 1000 Kilogramm Radium emittiert würden.

Eine ganz besonders sinnreiche Methode, um geladene Partikel größter Geschwindigkeit ohne Verwendung entsprechend hoher elektrischer Spannungen zu erzeugen, ist das von amerikanischen Forschern erdachte und auch konstruktiv in vielen Exemplaren ausgeführte Cyclotron. Bei diesem Apparat ist ein homogenes Magnetfeld mit einem hochfrequenten elek-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

trischen Wechselfeld in folgender Weise kombiniert:

Zwischen den Polschuhen eines großen Elektromagneten befindet sich eine flache Metalldose, die längs eines Durchmessers in zwei Hälften geteilt ist; an diese beiden Hälften werden die Pole einer elektrischen Wechselspannungsquelle angelegt. Im Zentrum der Dose werden Wasserstoffkerne, Deuteriumkerne oder auch Heliumkerne entsprechend der gewünschten Strahlenart durch Ionisation des entsprechenden Füllgases der Dose hergestellt. Diese Kerne haben eine, wenn auch kleine, Anfangsgeschwindigkeit. Wird nun das Magnetfeld eingeschaltet, so beschreiben die Kerne geschlossene Kreisbahnen im Innern der Dose, ohne daß sich dabei ihre Geschwindigkeit ändern würde. Legt man aber an die beiden Dosenhälften eine elektrische Spannung, so wird bei einer bestimmten Polung beim Übertritt der Teilchen von einer Dosenhälfte in die andere die Geschwindigkeit der Teilchen vergrößert. Die Teilchen werden dann wieder innerhalb der Dosenhälfte einen Kreis beschreiben und schließlich auf der anderen Seite wieder in die erste Dosenhälfte übertreten; hat sich das elektrische Feld in der Zwischenzeit nicht geändert, so werden die Teilchen jetzt beim Übertritt um ebensoviel verlangsamt werden als sie beim vorhergehenden Übertritt in der entgegengesetzten Richtung beschleunigt wurden. Damit wäre also gar nichts erreicht. Wenn aber das Feld in der Zwischenzeit das Vorzeichen geändert hat, dann wird

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

auch beim zweiten Übertritt eine Beschleunigung eintreten. Man sieht, daß die Frequenz des Wechselfeldes so abgestimmt werden muß, daß das Feld gerade einmal sein Vorzeichen ändert, während die Teilchen einen Halbkreis in einer Dosenhälfte zurücklegen. Dabei werden die Radien der Teilchenbahn um so größer, je schneller die Teilchen werden; die Teilchen nähern sich also in vielen Umläufen dem Rand der Dose. Durch einen Kunstgriff werden sie schließlich aus der Dose herausgezogen und können nun durch ein dünnes Folienfenster in die Luft austreten. Der luftdichte Verschluß der Dose durch eine dünne Folie ist unerläßlich, da ja nur eine sehr geringe Gasmenge (geringer Gasdruck) in der Dose sein darf. Die elektrischen Spannungen, die hier zur Anwendung kommen, betragen nur etwa 50.000 bis 100.000 Volt. Da die Wechselfrequenz sehr hoch sein muß, wird das Feld durch einen sehr leistungsfähigen Kurzwellensender erzeugt. (Leistung etwa 30 bis 50 Kilowatt). Auch der Magnet braucht zur Erregung sehr viel elektrische Energie (ca. 40 Kilowatt), so daß diese Anlage im Betrieb recht kostspielig ist, ganz abgesehen von den Baukosten.

Mit diesem „Cyclotron“ können weit schnellere Teilchen erzeugt werden, als mit allen bisherigen elektrischen Höchstspannunganlagen. Man erreicht mit einer Anlage von 94 cm Dosenradius bw. Energien von α-Partikeln, wie sie erst eine elektrische Hochspannungsanlage von 8 Millionen Volt liefern würde.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Derzeit ist eine neue Anlage im Bau, die einen Dosendurchmesser von $1^3/_4$ Meter hat und α-Partikel der doppelten Energie als die früher angeführte Anlage liefern wird. Die α-Energien, die die natürlichen radioaktiven Substanzen liefern, sind bereits durch die ältere Anlage um 100% überschritten. Auch beim Cyclotron ist die Zahl der Partikel weit größer als bei den natürlichen radioaktiven Substanzen.

Mit dem Cyclotron war es bw. möglich, künstlich radioaktive Substanzen herzustellen, die hinsichtlich der Menge der Strahlenemission (Positronen oder Elektronen) schon sehr großen Mengen natürlicher radioaktiver Substanzen äquivalent sind. So konnte man bw. die Geschwindigkeit feststellen, mit der Kochsalz aus dem Magen in den Blutkreislauf übergeht. Man verwendete zu diesem Zweck statt des gewöhnlichen Kochsalzes solches, in dem das Natrium künstlich radioaktiv gemacht worden war. Aus der Strahlung, die von den verschiedenen Körperteilen ausging, konnte die Verteilung im Körper untersucht werden. Auch sonst mögen diese künstlichen radioaktiven Kerne noch eine große medizinisch-biologische Bedeutung bekommen.

Mit diesen neugewonnenen Reagenzien der Kernchemie, den Protonen, Deuteronen und Neutronen konnte eine große Zahl von Kernreaktionen studiert werden. Bereits Mitte 1937 waren über 600 Kernreaktionen bekannt. Ihre Zahl wächst ständig, insbesondere werden immer neue künstliche radioaktive

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Isotope bekannt, die durch Anlagerung von Neutronen an die stabilen Isotope der chemischen Elemente entstehen.

Im folgenden sind die heute bekannten Reaktionstypen aufgeführt: Hiebei bedeutet: ${}^{A}Z$ Kern mit der Massenzahl A und der Protonenzahl Z; ${}^{2}H$ = Deuteron, ${}^{1}H$ = Proton, ${}^{4}He$ = α-Partikel; ${}^{1}n$ = Neutron:

$$ {}^{A}Z + {}^{4}He \rightarrow {}^{A+3}(Z+1) + {}^{1}H \quad \ldots\ldots \quad (1) $$
$$ {}^{A}Z + {}^{4}He \rightarrow {}^{A+3}(Z+2) + {}^{1}n \quad \ldots\ldots \quad (2) $$
$$ {}^{A}Z + {}^{1}H \rightarrow {}^{A-3}(Z-1) + {}^{4}He \quad \ldots\ldots \quad (3) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A-1}Z + {}^{2}H \quad \ldots\ldots \quad (4) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A-1}(Z+1) + \gamma \quad \ldots\ldots \quad (5) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A}(Z+1) + {}^{1}n \quad \ldots\ldots \quad (6) $$
$$ {}^{A}Z + {}^{2}H \rightarrow {}^{A-2}(Z-1) + {}^{4}He \quad \ldots\ldots \quad (7) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A+1}Z + {}^{1}H \quad \ldots\ldots \quad (8) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A-3}(Z-2) + {}^{1}H + {}^{4}He \quad \ldots \quad (9) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A+1}(Z+1) + {}^{1}n \quad \ldots\ldots \quad (10) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A-3}(Z-1) + {}^{1}n + {}^{4}He \quad \ldots \quad (11) $$
$$ {}^{A}Z + {}^{1}n \rightarrow {}^{A-3}(Z-2) + {}^{4}He \quad \ldots\ldots \quad (12) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A}(Z-1) + {}^{1}H \quad \ldots\ldots \quad (13) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A+1}Z + \gamma \quad \ldots\ldots \quad (14) $$
$$ \text{„} \rightarrow {}^{A-1}Z + 2 \,.\, {}^{1}n \quad \ldots\ldots \quad (15) $$
$$ {}^{A}Z + \gamma \rightarrow {}^{A-1}Z + {}^{1}n \quad \ldots\ldots \quad (16) $$

Unter die Type (1) fällt die bereits besprochene Stickstoffumwandlung; bei (2) entstehen meist radioaktive Kerne, die durch Positronenemission in stabile Kerne übergehen. Reaktionstype (2) ist daher zu ergänzen durch die Folgereaktion:

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

$^{A+3}(Z+2) \rightarrow {}^{A+3}(Z+1) + e^{+}$. Reaktionstype (3) war die erste, die mit den neuen künstlichen Strahlungsquellen nachgewiesen werden konnte, u. zw. bei der Reaktion: $^{7}Li + {}^{1}H \rightarrow {}^{4}He + {}^{4}He$, das heißt: das Lithiumisotop mit der Massenzahl 7 — es enthält dieser Kern also 3 Protonen und 4 Neutronen — zerfällt nach Aufnahme eines Protons in zwei Heliumkerne, die mit großer Geschwindigkeit auseinanderfliegen und daher ebenso wie die α-Partikel der natürlichen radioaktiven Substanzen mit einer der oben besprochenen Methoden leicht beobachtet werden können. Charakteristisch für die Reaktionstype (3) ist, daß sie häufig bereits mit recht geringen Protonengeschwindigkeiten in Gang gesetzt werden kann. Es genügen oft einige 10.000 Volt Spannung an der Kanalstrahlenröhre. Das kommt neben anderen hier nicht näher diskutierbaren Gründen daher, daß die „Mauer", die die Atomkerne gegen Protonen umgibt, nur halb so hoch ist, wie die gegen α-Partikel und ferner die Zahl der einfallenden Protonen um viele Zehnerpotenzen größer ist, als die der α-Partikel der radioaktiven Substanzen. Type (4) tritt nur sehr selten auf. Ein besonderes Interesse verdient Type (5). Hier wird ein Proton in den Kern aufgenommen; das Ergebnis ist jedoch ein einziger schwerer Kern. Allerdings hat dieser Kern mehr Energie, als seinem Normalzustand entspricht. Dieser Energieüberschuß verläßt als Wellenstrahlung analog zur Gammastrahlung (γ) der radioaktiven Substanzen den Kern. Eine

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

solche Wellenstrahlung tritt im allgemeinen auch bei allen anderen der hingeschriebenen Reaktionen auf, u. zw. neben der Partikelbildung. Diese Strahlung hat ebenso wie die γ-Strahlung sehr kleine Wellenlängen. Type (6) führt stets zu radioaktiven Kernen. Es gilt nämlich allgemein die Regel, daß fast keine zwei stabilen Kerne vorkommen, die die gleiche Massenzahl haben — man nennt solche Kerne Isobare — und sich in der Protonenzahl um 1 unterscheiden, wohl aber kommt es häufig vor, daß sich die Protonenzahl um 2 unterscheidet. Es sind dann zwei Folgereaktionen möglich: ${}^{A}(Z+1) \rightarrow {}^{A}Z + e^{+}$ (Positronenemission) oder ${}^{A}(Z+1) \rightarrow {}^{A}(Z+2) + e^{-}$ (Elektronenemission).

Unter den Deuteronenreaktionen (7) bis (11) fällt auf, daß auch Reaktionen beobachtet wurden, bei denen mehr als zwei neue Kerne entstehen, u. zw. ein schwererer und zwei leichte. Von ganz besonderer Bedeutung sind die Neutronenreaktionen (12) bis (15). Wie schon früher erwähnt, können Neutronen auch in die schwersten Atomkerne eindringen und gerade langsame Neutronen werden besonders häufig von Kernen eingefangen und geben so Anlaß zu Kernreaktionen. Bei leichteren Kernen entstehen so die Reaktionstypen (12) und (13). bei schweren Kernen kommt im allgemeinen nur Type (14) in Frage. In diesem Falle wird ein Neutron angelagert und es entsteht ein um eine Masseneinheit schwereres Isotop — die Protonenzahl hat sich ja dabei nicht geändert. Bei einer solchen Anlagerung wird jedesmal Energie frei u.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zw. im Mittel etwa 10^{-5} Erg; diese Energie wird wieder als Wellenstrahlung emittiert. Dieses neue Isotrop kann nach Emission der Wellenstrahlung stabil sein oder, was meistens der Fall sein wird, künstlich radioaktiv. Die Reaktion (16) ist das kernphysikalische Gegenstück zum Photoeffekt, der in der Atomhülle seit langem bekannt ist. Es ist bekanntlich möglich, durch Einstrahlung von ultraviolettem Licht oder Röntgenstrahlung, Elektronen aus der Atomhülle abzuspalten. Auf dieser Erscheinung der Ionisation beruhen ja fast alle Meßmethoden der Radioaktivität und Kernphysik. Es hat sich nun herausgestellt, daß mit Wellenstrahlung extrem kleiner Wellenlänge in analoger Weise auch vom Kern Bestandteile abgespalten werden können, u. zw. konnte bisher der Nachweis einer Neutronenabspaltung erbracht werden. Man nennt diese Reaktionstype: Kernphotoeffekt.

Aus diesen wenigen Beispielen ist ersichtlich, daß die künstlichen Strahlungsquellen eine große Vielfachheit von Kernumwandlungsprozessen ans Licht gebracht haben. In der Richtung der praktischen Elementumwandlung freilich hat sich dadurch noch nichts grundlegendes geändert. Denn, selbst wenn die Ausbeute an neuen Produkten jetzt auf das Millionenfache erhöht werden kann, so bedeutet das wenig. Nach einjähriger Bestrahlung von Stickstoff mit einer α-Partikelmenge, die 1000 kg Radium äquivalent ist, würde ungefähr 1 Promille Stickstoff umge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wandelt sein; das ist zwar eine chemisch nachweisbare Menge, aber für eine praktische Anwendung bedeutet dieses Ergebnis nichts. Überdies wären die Herstellungskosten unverhältnismäßig groß, u. zw. mit rund 1000 RM zu veranschlagen. Das ist selbst beim kostbaren stabilen chemischen Element nicht rentabel.

In neuester Zeit wurde nun eine ganz andersartige Reaktionsart entdeckt, die sich von den oben angeführten 16 Typen grundlegend unterscheidet und die vielleicht geeignet ist, eine ganz neue Situation auf dem Gebiete der Atomumwandlung zu schaffen.

Es stellte sich heraus, daß das schwerste bekannte Element Uran, das bekanntlich schon eine natürliche Radioaktivität besitzt, nach Einlagerung eines thermischen Neutrons in den Atomkern auseinanderbricht, wobei mehr als nur ein Atomkern von mittlerem Atomgewicht entsteht. Das hatte man vorher nie beobachtet. Bei den normalen Kernreaktionen ist es immer so, daß als Ergebnis der Reaktion der eine Kern immer ein ganz leichtes Partikel, nämlich ein Proton, Neutron, Deuteron oder α-Partikel ist, und nur der andere Bestandteil ein schwererer Kern. Bei einem Zerfall in mehr als zwei Kerne ist auch immer nur einer ein schwererer, während die anderen leicht sind. Bei dem Uranzerfall entsteht aber bw. ein Rubidium und ein Caesiumkern oder ein Strontinum und ein Xenonkern und es wurde eine ganze Reihe von solchen Elementenpaaren mittleren Atom-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gewichtes gefunden, die ihrerseits künstlich radioaktiv sind. Dazu kommt noch ein anderer wichtiger Befund: Außer diesen mittelschweren Atomkernen tritt jedesmal auch eine Anzahl von Neutronen in Erscheinung als Ergebnis des Zerfalls, u. zw. scheint für je ein in den Urankern aufgenommenes Neutron mehr als ein Neutron neu zu entstehen. Es wird also die Zahl der Neutronen vervielfacht. Sorgt man dafür, daß die Neutronen die Substanzmenge nicht verlassen — das ist wegen der großen Durchdringungsfähigkeit der Neutronen nicht ganz leicht — so müßte die Neutronenzahl wie eine Lawine anwachsen und die Menge des umgewandelten Produktes natürlich auch, ähnlich wie bei einer chemischen Kettenreaktion. Freilich sind zur Erreichung dieses Zieles noch viele Schwierigkeiten zu überwinden. Die neuen Neutronen entstehen als schnelle und müssen, um für den Uranzerfall wirksam zu werden, erst in langsame umgewandelt werden. Bei diesem Verlangsamungsprozeß geht wieder eine Anzahl von Neutronen durch andere Kernprozesse verloren. Überdies ist an dem Uranzerfall nur ein in geringer Menge vorhandenes Uranisotop beteiligt, während die Hauptmenge des Uran einen Teil der Neutronen aufnimmt, ohne daß es zu einem Zerfall kommt. Wenn es aber gelingt, alle diese Schwierigkeiten zu überwinden, so wäre die Möglichkeit einer Atomumwandlung großen Stiles gegeben. Es eröffnet sich aber noch eine andere Perspektive von wahrscheinlich größerer Wichtigkeit: Bei jedem Uran-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zerfallprozeß wird eine auch für Kernreaktionen ungewöhnlich große Energiemenge frei. Sie ist etwa 10- bis 20mal größer als bei den meisten anderen exothermen Reaktionen. Wenn die Zahl der Kernprozesse durch die oben erwähnte Kettenreaktion wie eine Lawine anwächst, so ist dadurch auch eine Quelle zur Energiegewinnung gegeben, gegen deren Ausmaß alle bekannten Energiequellen nur unbedeutend sind.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1947

Band/Volume: 81_85

Autor(en)/Author(s): Ortner Gustav

Artikel/Article: Fortschritte in der künstlichen Atomumwandlung. 38-67