

## Über die Auffindung der «Uranspaltung»

Von OTTO HAHN, Göttingen

Im Anschluß an einen von mir in Basel gehaltenen Vortrag über die *Zerspaltung des Urans und ihre Bedeutung* hat der Schriftleiter der «Experientia» die Anregung gegeben, eine historische Darstellung der Entdeckung der Uranspaltung und die im Institut des Verfassers (Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie) im Anschluß daran gemachten Arbeiten einem größeren Kreise zur Verfügung zu stellen. Ich folge dieser Bitte sehr gerne, weil die erste Entwicklung, die in den Vereinigten Staaten schließlich zu den in der ganzen Welt bekannten Ergebnissen geführt hat, der Allgemeinheit nur wenig bekannt ist. Den eigentlichen «Kernphysikern» wird allerdings nicht viel Neues gesagt werden können.

Die zwei Substanzen, mit denen wir es im folgenden im wesentlichen zu tun haben, sind das seit mehr als 150 Jahren bekannte Uran, das höchste der in der Natur vorkommenden chemischen Elemente — es steht an der 92. Stelle des periodischen Systems und hat die Kernladung 92 — und das Neutron, das von CHADWICK<sup>1</sup> 1932 entdeckte neutrale Teilchen von der Masse des Wasserstoffs, wobei der wichtigste Unterschied zum Wasserstoff der ist, daß das Neutron sozusagen nur ein «nackter» Atomkern ohne elektrische Ladung ist, während der Wasserstoff — wie alle anderen chemischen Elemente — aus dem positiv geladenen Atomkern und der ihn neutralisierenden negativ geladenen Atomhülle besteht.

Seit der Entdeckung des Neutrons nimmt man an, daß die Atomkerne aller chemischen Elemente nur aus Wasserstoffkernen und Neutronen zusammengesetzt sind, wobei die Anzahl der positiv geladenen Wasserstoffkerne, Protonen genannt, die Stellung des Elements im System der Elemente eindeutig angibt, während die Summe der Protonen und Neutronen die Masse der betreffenden Atomart bestimmt. Atomarten mit einer verschiedenen Anzahl von Neutronen heißen isotope Atomarten des durch die Anzahl der Protonen definierten Elements. So gibt es schon beim Wasserstoff zwei isotope Atomarten, den gewöhnlichen Wasserstoff der Masse 1 und den seltenen «schweren» Wasserstoff der Masse 2, bei dem also zu dem einen Proton im Kern noch ein Neutron hinzukommt. Fast alle Elemente des periodischen Systems sind derartige Isotopenmischun-

gen, und auch das höchste Element, das Uran mit seinen 92 Protonen, besteht aus mehreren isotopen Atomarten, von denen das Uran mit der Masse 238 und das drei Neutronen weniger enthaltende seltenere Uran der Masse 235 für die später zu besprechenden Kernreaktionen allein von Interesse sind.

Wenige Jahre nach der Entdeckung des Neutrons gelang dem Ehepaar JOLIO-CURIE<sup>1</sup> die erste Herstellung künstlich radioaktiver, also instabiler Substanzen (1934), nachdem RUTHERFORD<sup>2</sup> schon 1919 die erste künstliche Atomumwandlung, die Umwandlung des Stickstoffs in Sauerstoff, durchgeführt hatte. Diese beiden großen Entdeckungen erfolgten mit den  $\alpha$ -Teilchen, also den positiv geladenen Heliumkernen natürlicher radioaktiver Substanzen. Mit dem Neutron kam zu diesen für künstliche Atomverwandlungen benutzten Geschossen ein neues besonders geeignetes Geschosß hinzu. Die Neutronen haben ja keine Ladung; sie werden vom positiven Kern der Elemente nicht abgelenkt, können also leichter an ihn herankommen.

Der italienische Physiker FERMI<sup>3</sup> war der erste, der auf die große Bedeutung der Neutronen zur Auslösung von Kernreaktionen hinwies, und so haben FERMI und seine Mitarbeiter die Elemente fast des ganzen periodischen Systems mit Neutronen bestrahlt und zahlreiche künstliche Radioelemente dargestellt.

FERMI und Mitarbeiter haben ihre Versuche bis zu dem Uran, also dem Element mit der höchsten Ordnungszahl, durchgeführt und auch hier durch Neutronen hervorgerufene Umwandlungsprozesse, darunter sehr rasch verlaufende, nachgewiesen. Sie machten die plausible Annahme, daß durch Einlagerung des Neutrons zunächst künstlich aktive, kurzlebige Uranisotope entstehen; und da diese Substanzen  $\beta$ -Strahlen emittierten, schlossen die Verfasser auf die Entstehung sogenannter «Transurane», Vertreter des in der Natur nicht bekannten Elements 93, vielleicht sogar eines weiteren mit der noch höheren Kernladung 94. Durch Emission eines  $\beta$ -Strahls — also negativen Elektrons — aus einem Element entsteht nämlich immer das nächsthöhere Element.

<sup>1</sup> I. CURIE und F. JOLIO, C. R. Acad. Sci. Paris, 198, 254 (1934).

<sup>2</sup> E. RUTHERFORD, Phil. Mag. (6) 37, 537 (1919).

<sup>3</sup> Vgl. z. B. E. FERMI, E. AMALDI, O. D'AGOSTINO, F. RASETTI, und E. SEGRÈ, Proc. Roy. Soc. 146A, 483 (1934).

<sup>1</sup> J. CHADWICK, Proc. Roy. Soc. 136A, 692 (1932).

Da die Versuche von FERMI und seinen Mitarbeitern von anderer Seite als nicht beweisend in Zweifel gestellt wurden, entschlossen sich LISE MEITNER und ich, die FERMI'schen Versuche nachzuprüfen. Es handelte sich vor allem darum, festzustellen, ob ein von FERMI als Vertreter des Elements 93 angesprochener 13-Minuten-Körper nicht vielleicht ein Isotop des Elements 91, Protaktinium, sei. Da wir als Entdecker des Protaktiniums dessen chemische Eigenschaften gut kannten, konnten wir mittels der sog. «Indikatormethode» sehr schnell nachweisen, daß kein Protaktinium vorlag, ebenso wenig wie etwa Thorium oder Aktinium. Die FERMI'sche Annahme mußte also nach dem damaligen Stande der Wissenschaft richtig sein. Denn obwohl seit der Entdeckung des Neutrons und seit der Verwendung künstlicher Strahlenquellen eine große Anzahl verschiedenartigster Kernreaktionen aufgefunden worden waren, so waren die entstehenden Produkte aber immer Isotope der bestrahlten Substanz oder ihre allernächsten Nachbarn. Eine Zerspaltung schwerer Kerne in mehrere leichte galt für ausgeschlossen.

MEITNER, STRASSMANN und ich haben dann weiter über die Bestrahlung des Urans mit Neutronen gearbeitet, und als Frucht mehrjähriger Versuche stellten wir eine größere Anzahl künstlich aktiver Atomarten dar, die wir alle als Transurane — also Elemente jenseits des Urans — ansprechen mußten. Soweit sie von anderer Seite nachgemacht wurden, wurden sie alle bestätigt.

Unabhängig von den genannten Transuran-Arbeiten von HAHN, MEITNER und STRASSMANN<sup>1</sup> beschrieben CURIE und SAVITCH<sup>2</sup> (1937 und 1938) einen sog. 3,5-Stunden-Körper, den sie ebenfalls bei der Bestrahlung des Urans mit Neutronen erhalten hatten und dessen chemische Eigenschaften nicht leicht festzustellen waren. Er ähnelte nach CURIE und SAVITCH den seltenen Erden, war aber kein Aktinium, sondern glich mehr dem Lanthan und ließ sich von diesem nur durch «fraktionierte Kristallisation» trennen. Mit einem gewissen Zögern entschlossen sich CURIE und SAVITCH, die Substanz in die Reihe der Transurane einzureihen, aber die von ihnen diskutierten Möglichkeiten kamen auch ihnen schwer verständlich oder unbefriedigend vor.

Da dieser merkwürdige 3,5-Stunden-Körper den Transuranen zugeteilt wurde, habe ich mit Herrn STRASSMANN diese Substanz nachzumachen versucht, und wir sind dabei nach genauerer Prüfung zu bemerkenswerten Ergebnissen gelangt, die etwa folgendermaßen formuliert wurden: «Außer den von HAHN, MEITNER und STRASSMANN beschriebenen Transuranen entstehen durch zwei sukzessive  $\alpha$ -Strahlabsplattungen drei künstlich aktive  $\beta$ -strahlende Radiumisotope verschiedener Halbwertszeit, die sich ihrerseits zu künstlich aktiven  $\beta$ -strahlenden Aktiniumisotopen umwan-

deln.» Der Schluß auf Radiumisotope war insofern zwingend, als nach ihren chemischen Eigenschaften nur Barium oder Radium in Frage kommen konnten. Barium konnte nach dem Stand der damaligen physikalischen Erkenntnisse nicht zur Diskussion gestellt werden; also blieb nur das Radium übrig.

Die Versuche wurden nach verschiedenen Richtungen weitergeführt. Da es sich immer um recht schwache Präparate handelte und die  $\beta$ -Strahlen des stabilsten der neuen Isotope stark absorbierbar waren, so daß man dickere Substanzschichten nur mit schlechter Strahlenausbeute messen konnte, wurde versucht, das «künstliche Radium» von dem als Träger zugesetzten Barium so gut als möglich zu trennen, um dünne, leichter meßbare Schichten zu bekommen. Dies geschieht nach dem Verfahren von M<sup>me</sup> CURIE durch fraktionierte Kristallisation, und es war uns seit vielen Jahren durchaus geläufig.

Die Versuche, auf die genannte Weise unsere künstlichen Radiumisotope vom Barium abzutrennen, schlugen fehl; eine Anreicherung des «Radiums» wurde nicht erzielt. Es war naheliegend, dieses Versagen auf die außerordentlich geringe Intensität unserer Präparate zurückzuführen. Es handelte sich ja immer nur um einige tausend Atome, die nur als einzelne Teilchen im Geiger-Müller-Zählrohr nachweisbar waren.

Um dies zu prüfen, machten jetzt STRASSMANN und ich die gleichen Versuche mit ebenso schwachen Intensitäten der natürlichen Radiumisotope Mesothorium und Thorium X. Diese Substanzen wurden peinlich von allen Spuren ihrer Muttersubstanzen oder ihrer Umwandlungsprodukte befreit und durch systematische Verdünnung Präparate gewonnen, die ebenfalls nur noch im Geiger-Müller-Zählrohr nachweisbar waren. Es wurden Kristallisationen der Chloride, Bromide und Chromate vorgenommen, immer mit dem entsprechenden Bariumsalz als Träger.

Das Resultat war das für Radium zu erwartende. Das Mesothorium wie das Thorium X reicherten sich mit den genannten Salzen in den ersten Fraktionen an, und zwar in dem Betrage, der nach unseren früheren Erfahrungen zu erwarten war. Damit war bewiesen, daß auch die wenigen Atome natürlicher Radiumisotope sich genau so verhielten wie starke Präparate.

Schließlich gingen wir dann zu unmittelbaren «Indikatorversuchen» über. Wir mischten die reinen natürlichen Radiumisotope mit unseren vorher ebenfalls von ihren Umwandlungsprodukten befreiten künstlichen Radiumisotopen und fraktionierten in der gleichen Weise wie vorher. Das Ergebnis war: die natürlichen Radiumisotope ließen sich von Barium abtrennen, die künstlichen aber nicht.

Ganz analoge Indikatorversuche machten wir mit den direkten Umwandlungsprodukten unserer vermeintlichen Radiumisotope. Im Falle des Radiums mußten diese Aktinium sein, im Falle des Bariums Lanthan (jedesmal das nächsthöhere Element). Das Er-

<sup>1</sup> O. HAHN und L. MEITNER, F. STRASSMANN, Chem. Ber. 69, 905 (1936).

<sup>2</sup> I. CURIE und P. SAVITCH, C. R. Acad. Sci. Paris 206, 1643 (1938).

gebnis war, daß keine Aktiniumisotope, sondern Lanthan-isotope vorlagen. Auch durch fraktionierte Kristallisation ließen sie sich nicht vom Lanthan trennen. (In dem 3,5-Stunden-Körper von CURIE und SAVITCH waren die Lanthan-isotope sicher auch schon enthalten. Aber da der 3,5-Stunden-Körper ein Gemisch verschiedener chemischer Elemente und nicht nur ein Isotopengemisch war, fanden sie eine partielle Trennbarkeit vom Lanthan durch fraktionierte Kristallisation.)

Zu allem Überfluß machten STRASSMANN und ich noch einen sog. Kreislaufversuch mit 6 verschiedenen, auseinander hergestellten Bariumsalzen, die eine geeichte Menge unseres aktiven Erdalkalimetalls enthielt. Nach Durchlaufen dieses Kreises verschiedenster Salze war der Gehalt unseres zugesetzten aktiven Produktes völlig unverändert geblieben. Dies war nur möglich, wenn das aktive Produkt und der Träger der vielen Salze, nämlich das Barium, identisch waren.

In der ersten Mitteilung über diese «allen bisherigen Erfahrungen der Kernphysik widersprechenden» Versuche (6. Januar 1939) waren die genannten Indikatorversuche noch nicht ganz zu Ende gemessen, und deshalb hatten wir uns noch vorsichtig ausgedrückt.

Nach dem Abschluß der im Gange befindlichen Messungen und dem Kreislaufversuch war eine Täuschung nicht mehr möglich.

Die abgeschlossenen Indikatorversuche und der genannte Kreislaufversuch erschienen in einer zweiten Mitteilung (10. Februar 1939). In dieser wurde auch die Spaltung des Elements Thorium festgestellt und mit Indikatorversuchen, ähnlich den oben beschriebenen, belegt. Hier fand sich auch bereits der Nachweis eines Edelgases und eines daraus entstehenden Alkalimetalls.

Unmittelbar nach der ersten Veröffentlichung über die Entstehung von Barium aus dem Uran erschien als erste Mitteilung eine Arbeit von L. MEITNER und O. R. FRISCH<sup>1</sup>, in der die Möglichkeit des Zerplatzens schwerer Kerne in zwei Kerne mittlerer Kernladung — deren Summe die Ladung des schweren Kerns ergibt — auf Grund des BOHRschen Tröpfchenmodells der Atomkerne erklärt wurde. MEITNER und FRISCH machten gleichzeitig eine Schätzung über den bei dieser Reaktion zu erwartenden außerordentlich hohen Energiegewinn, der sich aus der Massendefektskurve der Elemente des periodischen Systems ergibt. Die daraus zu folgernde, große Rückstoßenergie der bei der Spaltung auftretenden Bruchstücke wurde zuerst von FRISCH und kurz danach von F. JOLIOT experimentell sichtbar gemacht. MEITNER und FRISCH wiesen auch sehr bald darauf hin, daß die bisher für Transurane gehaltenen aktiven Umwandlungsprodukte keine Transurane, sondern Bruchstücke der Spaltung seien. Sie konnten sie durch Rückstoß außerhalb des bestrahlten Urans auf-sammeln.

In kurzer Folge erschien dann weiter eine ganze Anzahl von Arbeiten aus europäischen und amerikanischen kernphysikalischen Instituten als Bestätigung und Erweiterung der beschriebenen Versuche.

Der Vorgang verläuft also so, daß der Kern des Urans mit der Kernladung 92 in zwei mittelschwere Kerne zerspalten wird<sup>1</sup>. Wenn der eine davon Barium ist, das die Kernladung 56 hat, dann muß gleichzeitig ein Krypton mit der Kernladung 36 entstehen. Beide Kerne addieren sich zu 92. Beide Kerne haben, wie sich aus den Massen des Urans und denen der in der Natur vorkommenden stabilen Barium- und Kryptonisotope leicht erkennen läßt, eine zu große Masse; also einen großen Überschuß an Neutronen; die primären Spaltprodukte werden sich also unter Emission von  $\beta$ -Strahlen in stabile Elemente höherer Kernladung umwandeln, und zwar, wie die späteren Versuche bewiesen haben, unter Umständen über eine ganze Anzahl von aktiven Umwandlungsprodukten.

Der zu große Neutronengehalt der primären Spaltprodukte konnte aber noch auf eine andere Weise verringert werden, nämlich durch Abgabe — Wegdampfen — einiger der für die Stabilität der Spaltprodukte zu vielen Neutronen. Dies ist tatsächlich der Fall. In einer sehr wichtigen Arbeit haben F. JOLIOT<sup>2</sup> und seine Mitarbeiter v. HALBAN und KOWARSKI schon im Frühjahr 1939 festgestellt, daß bei den Spaltprozessen zusätzlich noch einige Neutronen abgegeben werden, sozusagen als Nebenreaktion.

Mit dieser auch von amerikanischen Forschern unabhängig von JOLIOT gemachten Erkenntnis wurde der Gedanke einer Auswertung der Atomenergie zum ersten Male in den Bereich des Möglichen gerückt, worauf von S. FLÜGGE<sup>3</sup>, damals im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, wohl zum ersten Male in der Öffentlichkeit hingewiesen wurde.

Mit der Gewinnung zusätzlicher Neutronen bei den Spaltprozessen, die ja durch Neutronen ausgelöst werden, können, wenn die neuen Neutronen immer wieder Uranatome treffen — also genügend spaltbares Material vorhanden ist —, die Vorgänge sich in kürzester Zeit lawinenartig vermehren: eine Kettenreaktion tritt ein; dabei frei werdende Energie wächst zu höchsten Beträgen an, die schließlich zu einer Explosion größten Ausmaßes führen muß.

In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse aber durchaus nicht so einfach, wie man vielleicht kurz nach der Auffindung der Uranspaltung angenommen hat. Auch eine beliebig große Menge des in der Natur vorkommenden Mischelements Uran gibt ohne besondere Zusätze und besondere Anordnungen weder eine Explosion noch eine Energie liefernde Maschine.

<sup>1</sup> Der Ausdruck Spaltung (Fission) wurde von MEITNER und FRISCH eingeführt.

<sup>2</sup> F. JOLIOT, H. v. HALBAN und L. KOWARSKI, *Nature* **143**, 680 (1939).

<sup>3</sup> S. FLÜGGE, *Naturw.* **27**, 402 (1939).

<sup>1</sup> L. MEITNER und R. FRISCH, *Nature* **143**, 239 (1939). — N. BOHR und J. A. WHEELER, *Phys. Rev.* **55**, 1124 (1939); **56**, 426 (1939).

Wir haben schon eingangs gehört, daß das Uran im wesentlichen aus zwei Isotopen besteht: dem Uran mit der Masse 238 und dem viel selteneren Uran 235, das im gewöhnlichen Uran nur zu 1:140 enthalten ist. Diese beiden Isotope verhalten sich nun den Neutronen gegenüber nicht gleich.

Für die Spaltungsvorgänge verantwortlich ist im wesentlichen nur das seltenere Isotop der Masse 235; besonders wirksam sind dabei verlangsamt Neutronen, also solche, die ihre ursprüngliche große Energie durch Zusammenstöße mit anderen Atomen eingebüßt haben. Beim häufigeren Uran 238 tritt dagegen ein anderer Vorgang auf, nämlich die Anlagerung eines Neutrons bestimmter Geschwindigkeit an das Atom unter Bildung eines künstlichen Uranisotops der Masse 239 (Resonanzprozeß). Schon einige Jahre vor der Auffindung der Spaltprozesse haben MEITNER und ich diesen Anlagerungsprozeß aufgefunden und das künstliche Uranisotop als  $\beta$ -strahlenden 23-Minuten-Körper identifiziert. Als  $\beta$ -Strahler muß dieses Isotop des Elements mit der Kernladung 92 in einen Vertreter des nächsthöheren Elements, also mit der Kernladung 93, übergehen. Wir selber konnten damals mit unseren schwachen Strahlenquellen diese Substanz zunächst nicht nachweisen. Sie wurde zuerst in den Vereinigten Staaten von Amerika aufgefunden und später Neptunium genannt.

Wir beobachten in dem Mischelement Uran also zwei ganz verschiedene Vorgänge: 1. die vor allem durch langsame Neutronen erfolgende Zerspaltung des Urans 235, die die Quelle neuer Neutronen ist und unter sehr großer Energieentwicklung vor sich geht; 2. die Anlagerung von Resonanzneutronen etwas höherer Geschwindigkeit an das häufige Uranisotop 238, ohne zusätzliche Neutronenabgabe, ohne besondere Energieentwicklung.

Nun haben die bei der Spaltung frei werdenden Neutronen ursprünglich eine sehr große Energie. Diese wird bei den Zusammenstößen mit dem Uran selbst und den sonst vorhandenen Elementen sehr schnell herabgesetzt. Aber bevor die für die *Spaltung* des seltenen Urans 235 besonders wirksame «thermische» Geschwindigkeit der Neutronen erreicht ist, durchlaufen sie die für die *Anlagerung* an das Uran 238 kritische «Resonanzgeschwindigkeit». Sie werden dabei von dem in viel größerer Menge vorhandenen Uran 238 weggefangen und gehen damit für die Spaltung verloren. Und wenn nicht dauernd neue Neutronen durch die Spaltvorgänge nachgebildet werden, kann keine Kettenreaktion zustandekommen.

Es liegt außerhalb des Rahmens dieser Mitteilung, auf die Arbeiten der Physiker, vor allem der vereinigten Amerikaner und Engländer, einzugehen, die diese Schwierigkeiten erkannt und überwunden haben. Die im Uran-Pile, dem Uranbrenner, gleichmäßig gesteuerte, die in der Atombombe ungesteuerte, explosionsartig sich steigernde Kettenreaktion waren das Ergebnis.

Hier soll noch kurz auf die Arbeiten eingegangen werden, die im Anschluß an die Auffindung der Kernspaltung im Institut des Verfassers (Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie) in den Jahren 1939–44 durchgeführt worden sind.

Nachdem dem Institut von etwa 1941 ab außer den bisher allein verwendeten Radium-Beryllium-Röhrchen als Neutronenquellen auch die Hochspannungsanlage des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik zur Verfügung stand, haben auch wir das Element 93 leicht nachweisen können. Es ließ sich nicht nur von allen Spaltprodukten unterscheiden und abtrennen, sondern auch von dem ihm chemisch recht nahestehenden Uran und Thorium.

Da auch dieser Vertreter des Elements 93  $\beta$ -Strahlen aussendete, wußten wir, daß daraus ein Element 94 entstehen mußte. Aber auch die Dahlemer Hochspannungsanlage war zum Nachweis dieser langlebigen Substanz noch viel zu schwach. Der Körper wurde in den Vereinigten Staaten aufgefunden und Plutonium genannt. Seine Herstellung — zunächst in kleinen Bruchteilen von Milligrammen und später in Kilogrammen — durch die vereinten Arbeiten der amerikanischen und englischen Wissenschaftler war eine vorher nicht für möglich gehaltene Leistung.

Wir selbst konnten an derartige Aufgaben nicht herantreten, sondern bemühten uns, die sich als recht verwickelt herausstellenden verschiedenartigen Spaltprozesse in bezug auf ihre Entwirrung aufzuklären und die chemische Abscheidung der zahlreichen aktiven Atomarten durchzuführen.

In einer Tabelle, die wir 1944 im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie über die Spaltprodukte aufgestellt haben, finden sich 25 verschiedene chemische Elemente in Form von mehr als 100 aktiven Atomarten als Produkte der Spaltung des einen chemischen Elements Uran. Die Zerspaltung erfolgt dabei immer in der Weise, daß zwei mittelschwere Elemente entstehen, deren Kernladungszahlen sich zu 92, der Kernladung des Urans, addieren. Wir fanden Vertreter aller Elemente, vom Brom mit der Kernladung 35 bis hinauf zum Praseodym mit der Kernladung 58. Die zu einem Element gehörigen, manchmal zahlreichen isotopen aktiven Atomarten sind charakterisiert durch ihre oft sehr verschiedenen Halbwertszeiten, also ihre verschiedenen Beständigkeiten. Es wurden Substanzen gefunden, deren Halbwertszeiten nur Sekunden betragen; wir haben aber auch solche nachgewiesen, die viele Jahre lang strahlen. Neben meinem Kollegen F. STRASSMANN nenne ich als besonders bewährte Mitarbeiter die Herren SEELMANN-EGGEBERT, H. GÖTTE, FrL. CLARA LIEBER.

Eine größere und viel ausführlichere Liste als unsere wurde Ende 1946 in Amerika erstmals veröffentlicht, als Frucht der vereinten Arbeiten der an der Aufklärung der Spaltprozesse beteiligten Wissenschaftler in den Vereinigten Staaten von Amerika. Die Tabelle fängt schon beim Element 30, dem Zink, an und geht

hinauf bis zum Element 63, dem Europium. Die Ausbeute an den von uns nicht angegebenen Spaltprodukten ist aber so klein, daß wir sie mit den uns zur Verfügung stehenden dürftigen Strahlenquellen, verglichen mit den viel tausendmal stärkeren Strahlenquellen in Amerika, keinesfalls hätten finden können.

Auch was die Charakteristik der Strahlen anbelangt, so ist die amerikanische Gemeinschaftstabelle naturgemäß sehr viel vollkommener als unsere.

Ebenso wie wir die am Anfang und am Ende der amerikanischen Tabelle stehenden Elemente geringer Intensität nicht finden konnten verhält es sich mit einer Anzahl langlebiger Atomarten unter den Spaltprodukten. Ihre Intensität war zu klein.

Anders verhält es sich mit den kurzlebigen Produkten. Hier wurde es fast zu einem gewissen Sport ausgebildet, Methoden auszuarbeiten, die ein möglichst schnelles Arbeiten ermöglichen. Über diese schnellen Abscheidungen seien noch ein paar Bemerkungen erlaubt. So fanden wir neben einer Reihe stabilerer Alkalimetalle ein aktives Zäsium von etwa 40 Sekunden und ein aktives Strontiumisotop von 90 Sekunden Halbwertszeit. Um diese Substanzen frei von allen anderen aktiven Spaltprodukten zu gewinnen, konnten wir unmöglich das bestrahlte Uran auflösen und verarbeiten.

Wir halfen uns, indem wir uns «hochemanierende» Uranpräparate herstellten, aus denen die aktiven Edelgase zu einem hohen Prozentsatz bei gewöhnlicher Temperatur herausdiffundierten. Die Alkalimetalle sammelten wir als «aktive Niederschläge» an einer negativ geladenen Platte. Die Verarbeitung des an der Platte niedergeschlagenen unsichtbaren Substanzgemischs war dann so schnell möglich, daß zum Beispiel das radioaktiv reine, auch rubidium- und erdalkalifreie Zäsium als Zäsiumsilikowolframat 1,2–1,4 Minuten nach Unterbrechung der Bestrahlung im Zähler lag. Die Zeit für das von allen übrigen Produkten abgetrennte Gemisch Zäsium + Rubidium, nach anderen Methoden gewonnen, lag bei 1,6–1,8 Minuten.

Sollten die recht komplizierten Mischungen etwas länger lebiger Umwandlungsprodukte der Edelgase untersucht werden, so konnte man so vorgehen, daß die Edelgase während der Bestrahlung der Uranlösung durch verschiedene Kältemischungen geschickt wurden, von denen die eine das radioaktive Xenon, die an-

dere das Krypton adsorbierten. Dadurch erzielte man unmittelbar eine Trennung der Zäsium-Barium-Lanthan-Gruppe vom Rubidium-Strontium-Yttrium.

Die kurzlebigen reinen Jod- und Bromisotope von ungefähr 30 Sekunden, 50 Sekunden, 3 Minuten und 1,8 Minuten Halbwertszeit wurden 3 bis 3,5 Minuten nach Unterbrechung der Bestrahlung gemessen, reines, umkristallisiertes Barium nach kaum mehr als 2 Minuten, usw.

Wenn nach sehr kurzer Bestrahlung und schnellem Arbeiten erkannt war, daß bei irgendwelchen Isotopenmischungen Reste kurzlebiger Isotope anwesend waren, dann wurden durch längere Bestrahlung und ruhiges Arbeiten zunächst die stabileren Isotope genauer in ihrer Intensität und Halbwertszeit ermittelt. Mit ihrer Kenntnis war dann der Rückschluß auf die Anwesenheit und die Zerfallszeit der kurzlebigen nicht schwer.

Wir glauben, daß von diesen kurzlebigen Substanzen eine ganze Anzahl in der ausführlichen amerikanischen Tabelle unmittelbar von uns übernommen wurden.

Es ist zu hoffen, daß auch die in den Vereinigten Staaten durchgeführten Abscheidungsmethoden allmählich der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden. Außer der Zusammenfassung der Ergebnisse vom Herbst 1946 sind diese Untersuchungen meines Wissens ja noch nicht publiziert. Sicher werden diese Veröffentlichungen dann eine Quelle reichster Belehrung und Anregung bilden für die Glücklichen, die noch die Möglichkeit haben, auf diesem reizvollen Gebiete der Radiochemie weiterzuarbeiten.

#### Summary

At the beginning a few remarks are made concerning the constitution of the atomic nucleus.

A description follows about the work completed with LISE MEITNER and FR. STRASSMANN from 1935–38 about the products, taken for „trans-uranium elements“, which were observed after the radiation of the uranium with neutrons, all of them having proved to be representatives of elements of medium size since the discovery of the fission of uranium.

Full details are then given about the way which in the end led HAHN and STRASSMANN to the discovery of the fission of uranium.

Finally the researches are mentioned which have been pursued in the institute of the author, the Kaiser Wilhelm Institute for Chemistry in Berlin-Dahlem, from 1939–44.