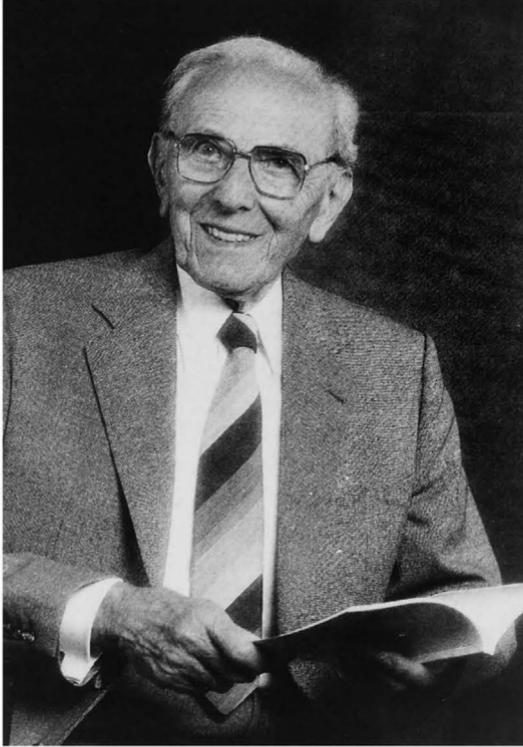


Rudolf Fleischmann



## Rudolf Fleischmann

Professor Fleischmann wurde 1903 in Erlangen geboren. Nach dem Abitur studierte er von 1922 bis 1926 Mathematik und Physik an den Universitäten Erlangen und München. Anschließend legte er die erste und zweite Staatsexamensprüfung ab. Von 1927 bis 1929 arbeitete unser Referent bei B. Gudden in Erlangen an seiner Dissertation. In der Folgezeit war er Assistent bei R.W. Pohl an der Universität Göttingen. 1932 wurde unser Referent Assistent von W. Bothe, und zwar bis 1934 am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg und anschließend am Kaiser-Wilhelm-Institut für Medizinische Forschung, Teilinstitut Physik, ebenfalls in Heidelberg. Herr Fleischmann wurde 1941 zum außerordentlichen Professor der Universität Straßburg ernannt. Von 1944 bis 1946 befand sich unser Referent in Kriegsgefangenschaft in den USA. Nach seiner Rückkehr wurde er 1947 ordentlicher Professor und Direktor des Physikalischen Staatsinstituts der Universität Hamburg. 1953 nahm Professor Fleischmann einen Ruf der Universität Erlangen an. Emeritiert wurde er am 1.10.1969.

Professor Fleischmann hat sich in seiner wissenschaftlichen Laufbahn vor allem mit den nachfolgenden Arbeitsgebieten beschäftigt: Äußerer Photoeffekt, auch selektiver an Alkalimetallen, Kernphysik ( $\gamma$ -Strahlung, ausgelöst durch Neutronen), künstliche Radioaktivität, Isopentrennung mit Trennrohr, Verwendung künstlicher radioaktiver und angereicherter stabiler Isotope für tracer-Experimente. Ab 1947: Optische Interferenz mit polarisiertem Licht bei Amplitudenausgleich, Gruppenstruktur des Dimensionensystems, polarisierte Elektronen, Erstentwicklung einer Quelle für polarisierte Protonen und Deuteronen, Kernumwandlung mit solchen Teilchen im Tandembeschleuniger. Professor Fleischmann ist Autor des Buches *Einführung in die Physik*; zudem ist unser Referent Verfasser von zahlreichen Zeitschriftenbeiträgen, insbesondere in den *Annalen der Physik*, in der *Zeitschrift für Physik*, in den *Physikalischen Blättern* und den *Ergebnissen der Exakten Naturwissenschaften*.



## Vom Atomkern zur Uranspaltung - Erfahrungen aus meinem Berufsleben

Zunächst möchte ich dem Veranstalter dieser Vortragsreihe danken, daß er mir Gelegenheit gegeben hat, heute zu Ihnen zu sprechen. Der erste Teil *Vom Atomkern zur Uranspaltung* berichtet von einem Entwicklungsabschnitt der Kernphysik, den ich als Student und junger Assistent miterlebt habe, und bei dem ich in Heidelberg in die Forschungsarbeiten einbezogen wurde.

Das war eine aufregende Zeit! Alle Augenblicke, wenn ich so sagen darf, wurde etwas unerwartet Neues entdeckt, das von keiner Theorie vorausgesagt worden war. Sie wissen alle, daß die Röntgenstrahlen 1895 entdeckt wurden, und Becquerel 1896 feststellte, daß von Uran und Uranmineralien eine Strahlung ausgeht, ähnlich wie von einer Röntgenröhre. Das war die Entdeckung der Radioaktivität und der Beginn der Kernphysik.

Ich übergehe die weitere Entwicklungsgeschichte und nenne nur Madame Curie. Sie hat aus Uran mit chemischen Mitteln Radium abgetrennt, das Polonium entdeckt und vieles andere. In den darauffolgenden Jahren war Ernest Rutherford einer der erfolgreichsten Forscher. Zu ihm kam Hans Geiger aus Erlangen und wurde an den Forschungsarbeiten beteiligt. Geiger befaßte sich insbesondere mit der Frage: Kann man einzelne Alphateilchen mit elektrischen Methoden feststellen. Geiger versuchte zunächst, die stark ionisierenden Alphateilchen nachzuweisen, indem er sie gegen eine Nadelspitze laufen ließ, an die beträchtliche elektrische Spannung gegenüber der Umgebung angelegt war (Größenordnung 1000 - 2000 Volt). Das elektrische Feld in der Nähe der Spitze war der empfindliche Bereich. Die Alphateilchen lösen durch Stoß gegen Gasatome Ionen und Elektronen aus, und - wenn die geometrischen Feldbedingungen entsprechend gewählt sind - dadurch erzeugt jedes einzelne Alphateilchen einen kurzen Stromstoß. Dieser läßt sich leicht an einem Ableitwiderstand mit einem Fadenvoltmeter beobachten. Später gelang es Geiger auch, die weniger stark ionisierenden Elektronenstrahlen auf diese Weise

nachzuweisen und auch die Gammastrahlen, denn sie lösen schnelle Elektronen aus. In viel späteren Jahren, nämlich 1928, entstand im Geigerschen Institut in Tübingen das Zählrohr. Es unterscheidet sich vom Spitzenzähler nur durch ein viel größeres strahlenempfindlicheres Volumen.

Im Rutherford-Institut untersuchte man um 1910 den Durchgang von Alphateilchen durch dünne Folien. Darin werden die Alphateilchen abgebremst und gestreut. Streuung heißt Ablenkung aus der bisherigen Flugrichtung. Diese Streuung lieferte ganz überraschende Ergebnisse. Man läßt ein nahezu paralleles Bündel von Alphateilchen auf eine dünne Folie fallen, z.B. Blattgold, diese kann so dünn sein, daß die Geschwindigkeit der Alphateilchen beim Durchgang noch kaum geändert wird. Dann stellt man fest, daß manche der Alphateilchen aus der Richtung abgelenkt werden, und zwar um einen kleinen Winkel ziemlich häufig, um einen größeren selten. Zur Feststellung der gestreuten Alphateilchen diente ein Spitzenzähler. Und jetzt kommt der entscheidende Punkt: Es kamen Alphateilchen vor, die bis zu fast  $180^\circ$  abgelenkt waren. Ein solches Alphateilchen wurde also sozusagen nach rückwärts reflektiert. Man mußte fragen, woran es reflektiert wurde. Rutherford überlegte: Dann muß es in den Atomen von Gold vermutlich Zentren mit so großer Masse geben, daß der Vorgang dem Stoß einer kleinen Stahlkugel gegen eine große vergleichbar ist.

Zur damaligen Zeit wußte man bereits, daß im Inneren der Materie positive und negative elektrische Ladungsträger enthalten sind, über deren Verteilung gab es allerdings nur Vermutungen. Rutherford überlegte, es könnte sein, daß praktisch die gesamte Masse des Atoms in diesem Zentrum vereinigt ist. Nun ist das Alphateilchen positiv geladen. Wenn dieses Zentrum oder wie man bald sagte, der Kern, auch die gesamte im Atom vorhandene positive Ladung enthält, dann läßt sich ausrechnen, welche Winkelverteilung bei der Streuung entsteht, wenn die positiv geladenen Alphateilchen in statistisch verteilten Abständen an solchen positiv geladenen Zentren vorbeifliegen. Er fand ein Winkelverteilungsgesetz, bei dem die Strehäufigkeit proportional  $\sin^4(\varphi/2)$  ist, wo  $\varphi$  den Ablenkwinkel gegenüber der ursprünglichen

Strahlrichtung bedeutet. Zu diesem Ergebnis war Rutherford im März/April 1911 gelangt.

Die Winkelverteilung wurde von Geiger und Marsden an Folien aus verschiedenen Stoffen gemessen. Sie fanden vollkommene Übereinstimmung mit der von Rutherford angegebenen Formel. Daraus war zu folgern: Dieses Zentrum, also der "Kern", enthält fast die gesamte Masse des Atoms und hat eine positive Ladung, die bei einem chemischen Element, das im Periodensystem die Ordnungszahl  $Z$  hat, das  $Z$ -fache der elementaren Ladung beträgt. Das war die Entdeckung des Atomkerns! Zu dieser Beobachtung, daß die Alphateilchen auch nach rückwärts gestreut werden können, sagte Rutherford später: "Das war bestimmt das unglaublichste Ergebnis, das mir je in meinem Leben widerfuhr. Es war fast so unglaublich, als wenn einer eine 15-Zoll-Granate auf ein Stück Seidenpapier abgefeuert hätte und diese zurückgekommen wäre und ihn getroffen hätte."



Abb.1: Künstliche Kernumwandlung. Nebelkammeraufnahme des Prozesses  ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{H}$  kurz  ${}_{7}^{14}\text{N}(\alpha, p){}_{8}^{17}\text{O}$ . Aufnahme P.M.S. Blackett u. D.S. Lees, Proc. Roy. Soc. A 136, 325 (1932).

Einige Jahre später wurde von Rutherford und Mitarbeitern gefunden, daß es Fälle gibt, in denen ein Alphateilchen in den Kern eindringt und dafür ein Wasserstoffteilchen, ein Proton, aus dem getroffenen Kern herausfliegt. Das war im Jahr 1919 und war der erste Fall einer künstlichen Kernumwandlung (vgl. Abb. 1).

Bald darauf bemerkte man noch etwas Neues. Obwohl alle einfallenden Alphateilchen dieselbe kinetische Energie hatten, hatten die herausfliegenden Protonen bei gewissen Stoffen unterschiedliche kinetische Energie, es gab Geschwindigkeitsgruppen. Einen solchen Fall haben dann Bothe und Fränz damals in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Charlottenburg genau untersucht. Sie bestrahlten Bor mit Alphastrahlen einheitlicher kinetischer Energie und erhielten zwei Protonengruppen. Bothe überlegte etwa so: Wir wissen, daß beim Durchgang von Elektronen durch Quecksilberdampf manchmal ein Elektron kinetische Energie verliert und gleich darauf Licht ausgesandt wird, dessen Quantenenergie genau dem Verminderungsbetrag der kinetischen Energie des Elektrons entspricht. Etwas Vergleichbares schien ihm beim Stoß von Alphateilchen gegen Borkerne vorzuliegen. Die Energiedifferenz der beiden Protonengruppen war rund 3 Millionen Elektronenvolt. Bothe hielt es daher für möglich, daß Gammastrahlung der Quantenenergie 3 MeV ausgesandt wird und er entschloß sich, danach zu suchen. Er verwendete Alphateilchen von Polonium, weil dieser Stoff keine Gammastrahlung aussendet. Er ließ die Alphateilchen der Reihe nach auf mehrere chemische Elemente fallen und bekam bei Bor, bei Lithium, bei Beryllium und bei Fluor eine schwache, mit dem Spitzenzähler nachweisbare Gammastrahlung. Am stärksten war sie bei Beryllium, dann bei Lithium, dann bei Bor. Er versuchte, ihre Quantenenergie abzuschätzen, war sich aber im klaren, daß man bei Quantenenergien über 1,5 MeV die Quantenenergie nicht aus der Absorbierbarkeit in Blei ableiten kann, außer, wenn es möglich ist, ein schmales Bündel auszublenzen, aber nicht bei einer schwachen Strahlenquelle; daher entwickelte er eine neue Methode zur Abschätzung der Quantenenergie dieser Strahlung.

Jetzt komme ich zu einem wichtigen Punkt: Gammastrahlung löst bekanntlich, vor allem durch Comptoneffekt, schnelle Elektronen aus. Er

hatte nun die Absicht, die durch die Gammastrahlung ausgelösten Sekundärelektronen auf ihre Absorbierbarkeit zu untersuchen, um daraus auf die Quantenenergie der auslösenden Gammastrahlung zu schließen. Wie kann man dabei vorgehen? Er ließ die Gammastrahlung auf Aluminium fallen und sorgte dafür, daß die ausgelösten Sekundärelektronen zwei dicht nebeneinander stehende dünnwandige Zählrohre durchsetzten. Mit Hilfe einer geeigneten Röhrenschialtung wählte er solche Ausschläge aus, die in den beiden Zählrohren gleichzeitig eintraten. Ein solches Ereignis gleichzeitiger Zählsignale nennt man eine Koinzidenz.

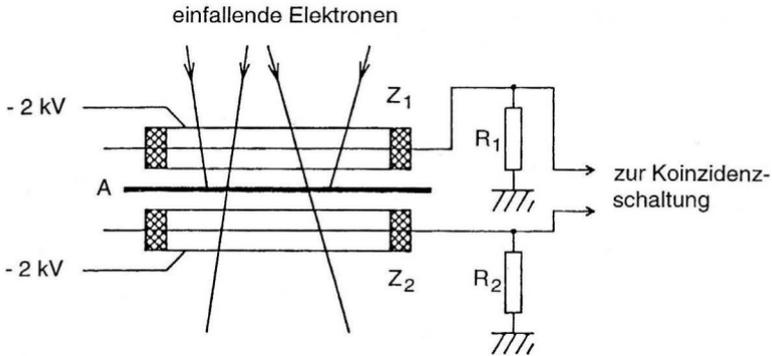


Abb. 2: Zwei Zählrohre  $Z_1$  und  $Z_2$  zur Bestimmung der Koinzidenzrate einfallender Teilchen. Gezählt werden nur solche Elektronen, die beide Zählrohre durchsetzt haben.

Wenn man jetzt *zwischen* die beiden Zählrohre dünne Aluminium-Bleche mit zunehmender Dicke einschiebt, nimmt die Anzahl der Koinzidenzen ab, und man kann daraus auf die kinetische Energie der Elektronen und damit auch auf die Quantenenergie der auslösenden Gammastrahlung schließen. Zur Eichung des Verfahrens verwandte er eine Gammastrahlung mit der Quantenenergie  $2,62\text{ MeV}$  (von  $\text{ThC}'' =$

$^{81}_{208}\text{Tl}$ ). Er bekam für die Gammastrahlung aus B plus  $\alpha$ , wie erwartet, rund 3 MeV, für die Strahlung aus Be plus  $\alpha$  rund 5 MeV.

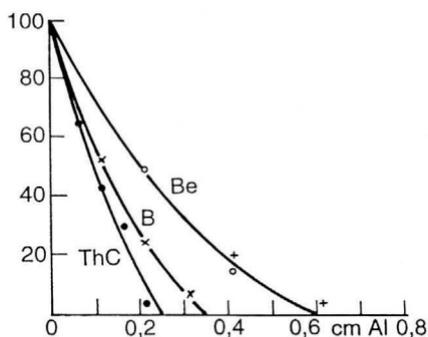


Abb. 3: Abnahme der Koinzidenzhäufigkeit durch Einschieben einer Al-Schicht. Die Absorbierbarkeit (Halbwertdicke) für Elektronen hängt mit der Quantenenergie zusammen. Vergleich mit ThC " 2,62 MeV ergibt für B rund 3 MeV, für Be rund 5 MeV.

Die Herkunft der Gammastrahlung bei Be plus  $\alpha$  war damals zunächst rätselhaft, denn es wurden keine Protonen ausgesandt, und man konnte gute Gründe angeben, daß Anregung durch unelastischen Stoß nicht in Frage kam.

Bereits nach Bothes erster Mitteilung stürzten sich andere Forscher auf das Problem. Hier sind zunächst Curie und Joliot zu nennen. Irène Curie war die Tochter der Madame Curie, die das Radium entdeckt hatte und Joliot ihr Ehemann. Die beiden hatten sehr starke Polonium-Präparate zur Verfügung, wenn ich mich recht erinnere, 70mal stärker als die von Bothe. Sie stellten Beobachtungen mit einer Nebelkammer im Magnetfeld an und fanden einerseits Elektronen mit kinetischen Energien bis 4,5 MeV, die von der Botheschen Gammastrahlung herührten, aber sie beobachteten noch etwas ganz Überraschendes. Mit-ten in der Nebelkammer traten Spuren von stark ionisierenden schnell

bewegten Atomionen auf, offenbar aus der Gasfüllung der Nebelkammer. Sie veröffentlichten ihren experimentellen Befund und dazu eine Deutung, die aber ganz falsch war.

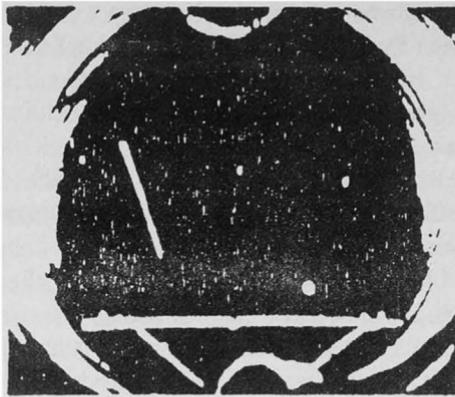


Abb. 4: H-Kern, angestoßen durch ein Neutron

Als Chadwick in Cambridge davon erfuhr, es gibt darüber einen amüsanten Bericht, war ihm sofort klar: "Das ist sicher eine Wirkung von Neutronen, nach denen wir seit Jahren vergeblich suchen." Das hatte folgenden Hintergrund: Die Atomgewichte der Isotope verhalten sich nahezu wie ganze Zahlen. Ganz allgemein dachte man damals, der Kern könne vielleicht aus einer Vielzahl von Protonen, also Wasserstoffkernen, und Elektronen zusammengesetzt sein, der Urankern also aus 238 Protonen und 146 Elektronen. Seine Ladung würde dann  $Z = 92$  positiven Elementarladungen entsprechen. Es gibt schlagende Gründe, daß dann der Kern ein riesiges Volumen haben müßte, was aber mit den experimentellen Erfahrungen nicht vereinbar war.

Zu diesem Problem sagte Rutherford schon 1920 in einem Vortrag: "Nehmen wir einmal an, es gäbe Teilchen mit einer Masse, etwa von der der Wasserstoffkerne, aber ohne elektrische Ladung. Nennen wir

ein solches Teilchen einmal "Neutron". Dann wäre der Urkern aus 92 Protonen und 146 Neutronen zusammengesetzt." Dadurch war Chadwick vorbereitet. Man hatte sich überlegt, daß freie Neutronen, wenn es sie gibt, auf einen anderen Kern stoßen und ihn in Bewegung setzen können. Beim zentralen Stoß auf einen Wasserstoffkern würde die gesamte kinetische Energie des Neutrons auf diesen übergehen, ähnlich wie beim Stoß einer kleinen Stahlkugel auf eine gleich große. Wenn dagegen ein Neutron auf einen Stickstoffkern stoßen würde, würde es mit verminderter kinetischer Energie reflektiert, ähnlich wie wenn eine kleine Stahlkugel auf eine Stahlkugel mit 14mal größerer Masse stößt. Er baute schnell eine geeignete Apparatur, bestimmte die bei Wasserstofffüllung und bei Stickstofffüllung auftretende maximale kinetische Energie, wendete den Energie- und den Impulserhaltungssatz an und erhielt innerhalb seiner beschränkten Meßgenauigkeit für die Masse des Neutrons einen Wert etwas größer als eine Atomgewichtseinheit, für die kinetische Energie der stoßenden Neutronen ungefähr 4,5 MeV. Damit war das Neutron entdeckt! Die Mitteilung davon wurde in Göttingen, wo ich damals war, im Februar 1932 bekannt. James Franck teilte bei Beginn des Kolloquiums mit, was er eben in *Nature* gelesen hatte.

Dann möchte ich eine Zwischenbemerkung machen: Zahlreiche Physiker glaubten nun, Bothe habe eine durchdringende Strahlung beobachtet und sie für Gammastrahlung gehalten, in Wirklichkeit seien es aber Neutronen gewesen. Das ist vollkommen falsch. Die damalige Bothesche Apparatur war für Neutronen absolut unempfindlich. Denn durch den Stoß von Neutronen kann man keine Elektronen auf 4,5 MeV bringen. Er hatte von zwei Strahlenarten, die von Be plus  $\alpha$ -Teilchen ausgehen, die eine entdeckt, nämlich Gammastrahlung aus künstlicher Kernanregung durch Stoß, aber von der anderen überhaupt nichts gemerkt.

Diese Arbeit war in Gießen durchgeführt worden. Zum 1.10.1932 wurde Bothe nach Heidelberg berufen als Nachfolger von Philipp Lenard, und zum selben Zeitpunkt wurde ich Bothes Assistent und wurde damit in die Forschungsarbeiten seines Instituts einbezogen. Meine erste Aufgabe war, mit einem von Becker und Bothe inzwi-

schen gebauten Zählrohr, das im Inneren mit einer Paraffinschicht ausgekleidet war und dadurch auch zum Neutronennachweis geeignet war, die Schwächung der Neutronen und der Gammastrahlen, die von Po plus Be ausgingen in 10 cm Blei und in 10 cm Paraffin in identischer geometrischer Anordnung zu messen. Dann sollte ich danach suchen, ob man auch durch Bestrahlen mit Neutronen Gammastrahlung auslösen kann, ähnlich wie es mit Alphastrahlen bei Bor und Beryllium gelungen war.

Nach der Entdeckung des Neutrons setzte eine stürmische Entwicklung ein. Bevor ich davon berichte, muß ich eine andere Entdeckung nennen, die auch äußerst überraschend war und bald für die Kernphysik Bedeutung gewann. Im September 1932 wurde bei Untersuchung der kosmischen Ultrastrahlung von Anderson in Californien ein neues Teilchen entdeckt, das positive Elektron, oder wie man dann sagte, das Positron. Bothe referierte Ende 1932 darüber in einem Abendvortrag. Bald wurde gefunden, daß bei der Absorption von Gammastrahlen mit Quantenenergien größer als 1 MeV Elektronenpaare ausgesandt werden, d.h. Elektron plus Positron. Dadurch wurde das Positron im Labor greifbar und konnte untersucht werden.

Etwa ein Jahr später gab es wieder eine ganz unerwartete und überraschende Entdeckung. Curie und Joliot fanden, wenn man Polonium- $\alpha$ -Teilchen auf Bor oder Magnesium oder Aluminium fallen läßt, fliegen davon Positronen weg. Das gab eine neue Möglichkeit, die Positronen im Labor zu untersuchen. Kurze Zeit darauf machten sie eine zweite ganz überraschende Entdeckung. Auch wenn das Polonium-Präparat von diesen Stoffen entfernt wurde, gingen von ihnen immer noch eine Zeitlang Positronen aus. Es war also ein radioaktives Folgeprodukt aus einer Kernumwandlung darin entstanden. Damit war die künstliche Radioaktivität entdeckt. Außerdem handelte es sich um einen neuen Typ von Radioaktivität, nämlich eine solche mit Aussendung von Positronen. Die erste Mitteilung darüber ist vom 15.1.1934 datiert.

Curie und Joliot gelang es auch, mit schnell wirkender chemischer Analyse den entstehenden radioaktiven Folgestoff abzutrennen. Damit war der Nachweis einer künstlichen Umwandlung eines chemischen

Elements in ein anderes erstmalig mit analytisch chemischen Methoden gelungen. Zwei Monate später hatte sich Fermi in Rom eine Neutronenquelle beschafft, nämlich eine Mischung von Radium und Beryllium. Er bestrahlte zahlreiche chemische Elemente mit Neutronen und beobachtete in sehr vielen Fällen dabei künstliche Radioaktivität. Die erste Mitteilung darüber ist vom 25.3.1934 datiert. Es entstanden neue radioaktive Stoffe, aber diese sandten durchweg Elektronen aus, ganz ähnlich, wie man es bei den natürlich radioaktiven Folgeprodukten von Uran und Thorium kannte.

Was war damals im Heidelberger Institut? Als diese Nachricht eintraf, war gerade der Umzug des Botheschen Instituts in das KWI für Medizinische Forschung im Gang. Bothe selbst war damals in einem Lungen-Sanatorium. Nun hatte Bothe 120 mg Radium in wäßriger Lösung nach Heidelberg mitgebracht und dazu eine Pumpe, mit der man die darin gebildete Radium-Emanation abpumpen und reinigen konnte. Ich hatte gelernt, damit umzugehen. Nach dem Umzug in das KWI stellte ich ein Präparat mit Radium-Emanation und Beryllium her. Das war eine wesentlich stärkere Neutronenquelle als die Po- + Be-Präparate, hatte aber eine sehr starke Gammastrahlung. Ich bestrahlte einige Stoffe und sah, wie leicht man diese neuen von Fermi erstmals gefundenen radioaktiven Stoffe erzeugen kann. Damit bestrahlte ich einen Eisenklotz mehrere Halbwertszeiten lang und konnte leicht nachweisen, daß davon auch Gammastrahlung ausging, die mit derselben Halbwertszeit (2 ½ Stunden) wie die Elektronenstrahlung abnahm.

Durch die Fermische Entdeckung ergab sich viel Neues. Die eben erwähnte in Eisen entstehende Radioaktivität hatte ihre Ursache in einem leicht verständlichen Prozeß. Ein Neutron tritt in den Kern ein, ein Proton fliegt heraus. Bei den weiteren Befunden war überraschend, daß auch Elemente mit großer Ordnungszahl umgewandelt wurden, z.B. Gold, Kernladung 79 und Uran. Wenige Monate später kam von Fermi eine überraschende Mitteilung, datiert vom 22.10.1934. Wenn man die Neutronen zuerst durch eine Paraffinschicht gehen läßt, entsteht in zahlreichen, aber nicht in allen Fällen eine viel stärkere Radioaktivität, manchmal 40mal stärker. Was ist die Ursache? Im Paraffin

verlieren die Neutronen durch Zusammenstöße mit Wasserstoffatomen den größten Teil ihrer kinetischen Energie. Wenn sie dann in einen Kern eindringen, werden sie einfach eingebaut (Einfangprozesse). Es gab rund 70 Beispiele dafür. Weiter fand man, daß dabei Bindungsenergie frei wird, bis zu 8 MeV, bei Wasserstoff allerdings nur 2,2 MeV und daß diese als Gammastrahlung ausgesandt wird. Mit dieser Einfang-Gammastrahlung, ihrer Entstehung, ihrer Absorbierbarkeit, ihren Quantenenergien, habe ich mich im Botheschen Institut in den Jahren 1934 bis 1938 beschäftigt.

Ich hatte Bothe vorgeschlagen, für die Suche nach Gammastrahlenentstehung durch Neutronen ein Beryllium + Radium-Emanationspräparat zu verwenden, denn dann seien die Teilchen von drei radioaktiven Stoffen nach allen Seiten wirksam, nicht nur die in Vorwärtsrichtung wie bei einem flachen Präparat. Zur Beseitigung der starken Gammastrahlen sollte das Präparat in das Innere eines großen Bleiklotzes gelegt werden. Die Gammastrahlung lasse sich so absorbieren, die Neutronen würden herauskommen. Als die Apparatur gerade fertig war, traf Fermis Mitteilung über Verstärkung der Radioaktivität durch Paraffin ein. Ich untersuchte gleich Paraffin zunehmender Dicke und erhielt eine für damalige Verhältnisse kräftige Gammastrahlung. Dann erzeugte ich eine Quelle mit langsamen Neutronen (Abb. 5a, b) und zeigte weiter, was beim Einschalten von Eisenplatten zunehmender Dicke zu beobachten war (Abb. 5 c,d,e).

Ich kehre noch einmal kurz zu Fermi zurück. Er und seine Mitarbeiter hatten gefunden, daß durch Neutronen auch Uran umgewandelt wird. Für eine der entstehenden Halbwertszeiten, nämlich 13 Minuten, glaubte er Gründe dafür zu haben, daß es sich um ein Neuklid mit der Kernladung 93 handelt, also um ein Transuran. Das war aber ein Irrtum. Später komme ich darauf zurück.

Otto Hahn, der früher mehrere natürliche radioaktive Stoffe entdeckt hatte, wie Protaktinium, Mesothorium und andere, begann bald darauf, in Zusammenarbeit mit Lise Meitner eine Analyse der aus Uran plus Neutron entstandenen künstlichen radioaktiven Stoffe. Das war 1934. Wenige Jahre vorher (1929) war die wellenmechanische Theorie des Alphaerfalls von Gamow aufgestellt worden. Danach können Alpha-

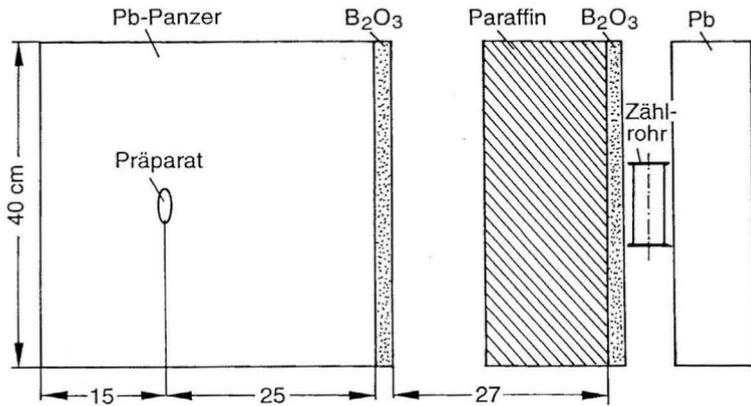


Abb. 5a: Beispiel einer Versuchsanordnung. Bestimmung der Anstiegskurve der Paraffin- $\gamma$ -Strahlung "vorwärts". Die  $B_2O_3$ -Schicht absorbiert "langsame" Neutronen, ohne daß Gammastrahlung entsteht.

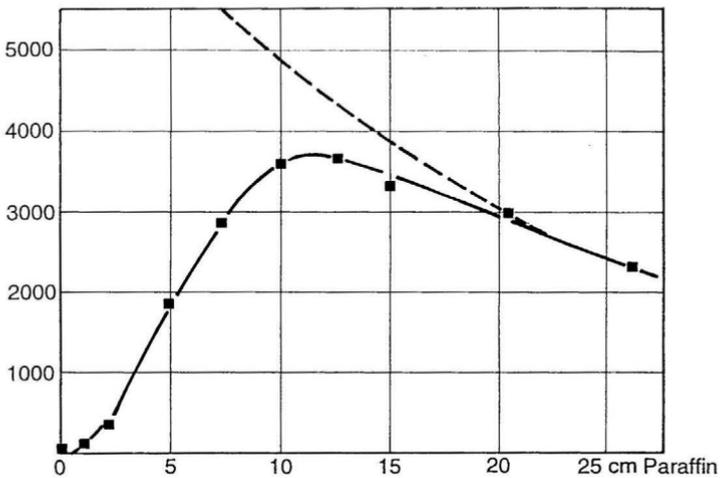


Abb. 5b: Anstiegskurve der Paraffin- $\gamma$ -Strahlung "vorwärts", gemessen in der Anordnung Abb. 5a. Die Kurve steigt nicht sofort geradlinig an, weil die Neutronen erst verlangsamt werden müssen, bevor sie sich an H-Kerne anlagern können.

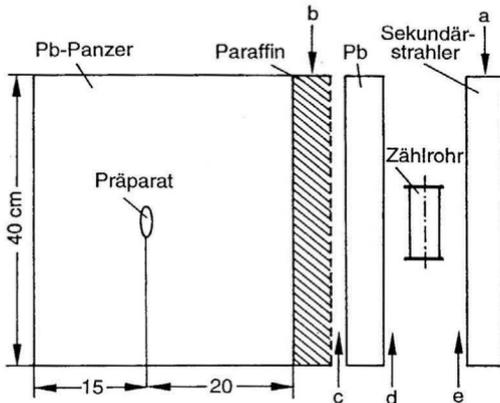


Abb. 5c: Versuchsanordnung für den Nachweis der sekundären  $\gamma$ -Strahlung. In der Paraffinschicht b werden die Neutronen verlangsamt, in der Pb-Schicht (c bis d) die im Paraffin entstandene Gammastrahlung absorbiert. Von d an sind nur mehr langsame Neutronen wirksam. In der gezeichneten Anordnung werden die in a entstandenen nach "rückwärts" laufenden Gammastrahlen gemessen.

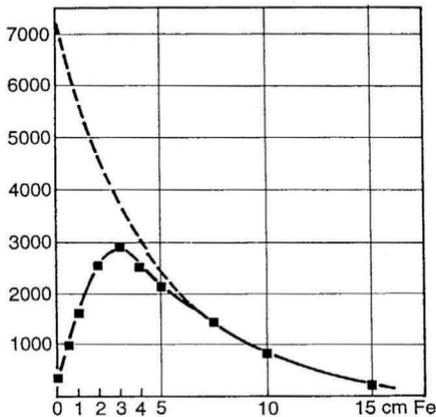


Abb. 5d: Anstiegskurve der Fe- $\gamma$ -Strahlung vorwärts. Differenz zweier Exponentialfunktionen. Dieser Verlauf entsteht, wenn in Abb. 5c Eisenplatten zunehmender Dicke bei d eingeschoben werden; es handelt sich also um Strahlung nach "vorwärts". Schicht a ist bei dieser Messung entfernt. Hier steigt die Kurve sofort steil an.

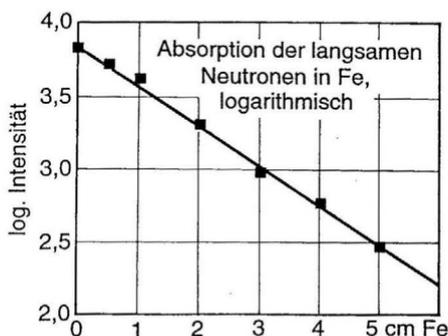


Abb. 5e: Absorption der langsamen Neutronen in Fe, (logarithmisch) aus dem Unterschied der ausgezogenen und gestrichelten Kurve in Abb. 5d.

teilchen und Protonen den Potentialwall des Atomkerns unter gewissen Voraussetzungen durchdringen und aus dem Kern austreten, wie beim natürlichen Alphazerfall, aber keine Teilchen mit größerer Ladung. Bei einer Kernumwandlung mit Alphateilchen können daher nur Nachbar-elemente des Ausgangsstoffes entstehen. Das übertrug man durch bloßen Analogieschluß auf Uran plus Neutron. Das war aber eine irrtümliche Extrapolation. Dadurch hielt man die aus Uran entstehenden künstlichen radioaktiven Stoffe für Transurane und hatte schließlich 22 solche. Die Beobachtungen und die Deutungen waren immer schwerer unter einen Hut zu bringen. Schließlich fanden Hahn und Straßmann, den Hahn seit einiger Zeit zu diesen Arbeiten herangezogen hatte, Ende 1938, daß drei der entstehenden radioaktiven Stoffe bestimmt keine Transurane waren, sondern Isotope des Elements Barium mit der Kernladung 56. Das war am 16.12.1938 endgültig klar. Hahn nannte das eine "Zerplatzreaktion" und teilte den Befund gleich Lise Meitner mit, die sich nicht mehr in Deutschland befand. Einiges dazu bespreche ich später.

Jetzt zeige ich noch das Zerplatzen des Uranatoms beim Eindringen eines Neutrons. In der Mitte befindet sich eine Folie mit einer dünnen Uranschicht. Die beiden Zerplatztrümmer fliegen in entgegengesetzte Richtung. Außerdem sieht man eine Vielfalt stark ionisierender Teil-

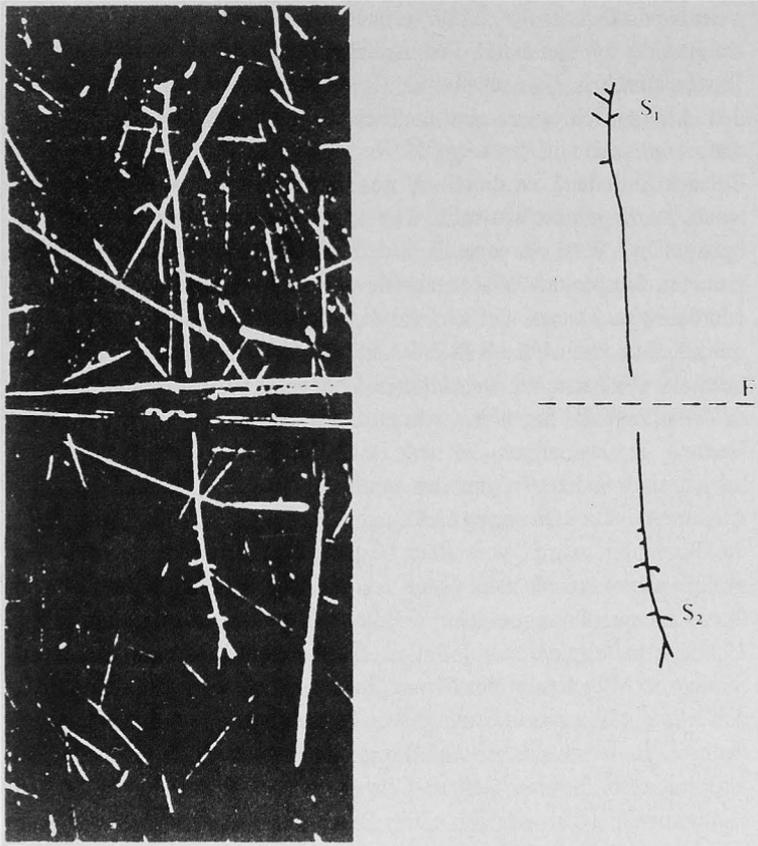


Abb. 6: Kernspaltung von Uran durch Neutronen. Eine dünne Folie F trägt Uran. Durch ein Neutron (im Bild unsichtbar) wurde ein Urankern in zwei geladene Bruchstücke mit großer Masse gespalten ( $S_1$ ,  $S_2$ ). Diese stoßen auf ihrem Flugweg gegen Kerne der Gasfüllung der Nebelkammer, ohne selbst erheblich abgelenkt zu werden. Daraus erkennt man, daß die Bruchstücke  $S_1$  und  $S_2$  sehr viel größere Massen haben als die Gasatome. Die zahlreichen anderen Spuren rühren von Atomen des Gases der Nebelkammer her, die durch unsichtbare Neutronen angestoßen worden sind. Links: Nebelkammeraufnahme (Ausschnitt), rechts (herausgezeichnet): die Spuren von  $S_1$  und  $S_2$  mit den von ihnen angestoßenen Gasatomen. Nach I.K. Bogghild, Phys. Rev. 76, 988 (1949).

chen, entstanden durch den Stoß von Neutronen, die selbst nicht sichtbar sind.

Damit habe ich den ersten Teil meines Themas zu einem wesentlichen Teil besprochen. Es war eine Erfolgs-Story. Ein Erfolg reihte sich an den anderen. Ich werde aber noch einmal auf einiges zurückkommen, dann wird auch von Irrtümern die Rede sein.

Bei der Einladung zu diesem Vortrag wurden mir einige Fragen genannt, an die ich denken sollte. Darunter z.B. wie kamen Sie zu Ihrem Fachgebiet? Was war damals anders als heute? Welche Ratschläge möchten Sie jungen Wissenschaftlern heute mit auf den Weg geben und ähnliche. Darauf will ich jetzt eingehen. Schon mit 15 Jahren war mir ziemlich klar, daß ich Physik und Mathematik studieren würde. Im Frühjahr 1922 machte ich Abitur und begann gleich mit dem Studium der Mathematik. Sie war zunächst mein Hauptfach, die Physik nur Beifach. Zur damaligen Zeit war Deutschland durch Reparationszahlungen und andere Folgen des ersten Weltkrieges schwer belastet. Allgemein hatte man wenig Geld, man war sehr bescheiden geworden, die Studenten waren vor allem bestrebt, möglichst schnell ihr Abschlußexamen zu machen. Dann war es nicht ganz einfach, in einen Beruf hineinzukommen. Der Geldwert sank fortgesetzt und führte 1923 zur galoppierenden Inflation. Im November 1923 zahlte ich als Student in München in der Mensa für das normale Essen 200 Milliarden Mark. Nach einem Studium von 8 Semestern - so gehörte es sich damals - legte ich das Abschlußexamen ab und zwar das Bayerische Staatsexamen für das Höhere Lehramt in Mathematik und Physik, Diplomprüfung gab es noch nicht. Das Staatsexamen bestand aus 12 Klausuren mit Aufgaben, identisch für München, Würzburg, Erlangen; zur mündlichen Prüfung mußten alle Kandidaten nach München. Die Prüfungskommission war aus Professoren aller drei Landesuniversitäten zusammengesetzt. Dann begann ich eine Doktorarbeit bei Gudden in Erlangen, der kurz vorher aus Göttingen gekommen war. Hier wurde ich zum Physiker. Ich lernte kennen, was damals moderne Physik war. Nach meiner Doktorprüfung war ich 2 ½ Jahre bei Pohl in Göttingen. Auf diese Zeit komme ich nachher noch einmal zurück. Am 1. Oktober 1932 wurde ich planmäßiger Assistent bei Bothe in

Heidelberg im Universitäts-Institut am Philosophenweg und ging am 1. April 1934 mit Bothe an das Kaiser-Wilhelm-Institut für Medizinische Forschung, Teilinstitut Physik, auch in Heidelberg. Dort befaßte ich mich, wie schon erwähnt, vor allem mit der beim Einfangsprozeß von Neutronen entstehenden Gammastrahlung (bis 1938, vgl. Abb. 5). Im Frühjahr 1938 wurde bekannt, daß Clusius in München das Trennrohrverfahren zur Isotopentrennung gasförmiger Stoffe erfolgreich entwickelt hatte. Das war für die Kernphysik sehr interessant. Denn dadurch bestand Aussicht, auch seltene Isotope für kernphysikalische Untersuchungen in die Hand zu bekommen. Auf Vorschlag von Bothe begann ich mit diesem Verfahren, Stickstoff mit dem Atomgewicht 15 anzureichern, der nur  $\frac{1}{3}$  % des natürlichen Stickstoffs ausmacht. Im Januar 1939 wurde die Uran-Spaltung bekannt. Im Juni 1939 erschien in den *Naturwissenschaften* ein Artikel von Flügge, in dem die Möglichkeit der Energiegewinnung aus Uran besprochen wurde. Damals ließ sich noch nicht sagen, ob ein Reaktor mit natürlichem Uran oder erst nach einer kleinen Anreicherung des Isotops 235 kritisch werden würde.

Wenige Monate später begann der Krieg. Die Forschungsabteilung des Heereswaffenamtes zog die Vorbereitungen zum Bau eines Uranreaktors (damals sagte man Uranmaschine) an sich. Die entsprechenden Physiker wurden durch Gestellungsbefehl einberufen und unterstanden dann der Forschungsabteilung des Heereswaffenamtes. Ich selbst bekam die Aufgabe, die Möglichkeit der Anreicherung des Isotops 235 im Trennrohr mit gasförmigem Uranhexafluorid zu untersuchen. Zunächst mußte der Thermodiffusionsfaktor bestimmt werden, denn das Hexafluoridmolekül konnte ein weiches Molekül sein und dadurch einen niedrigen Thermodiffusionsfaktor haben. Innerhalb meiner Meßgenauigkeit ergab sich dieser Faktor als 0. Es hatte also keinen Sinn, eine größere Trennanlage nach diesem Prinzip zu bauen. Wie wir heute wissen, wurde dasselbe in England etwa zur selben Zeit von Peierls und Frisch gefunden.

Ende 1941 schied ich aus dem sogenannten Uranverein aus und wurde Professor an der eben wieder eröffneten deutschen Universität Straßburg. Ich sollte in einem neu zu gründenden medizinischen For-

schungsinstitut die Abteilung Physik übernehmen und künstlich radioaktive Stoffe für medizinisch-biologische tracer-Experimente bereitstellen und an solchen Untersuchungen teilnehmen. Dazu war eine starke Neutronenquelle erforderlich. Es gelang mir, den Bau eines Teilchenbeschleunigers mit 1,5 MV durchzusetzen. Während des Krieges waren die Liefermöglichkeiten für nicht-militärische Zwecke stark eingeschränkt. Aber für Straßburg gab es Ausnahmen. Wenn uns gesagt wurde, das ist während des Krieges nicht zulässig, war die nächste Frage: "Und wer erteilt die Ausnahmegenehmigung?". Der Beschleuniger, mit dem Deuteronen auf Beryllium geschossen werden sollten, war im Sommer 1944 betriebsbereit, etwa zu der Zeit, als nach der Landung in der Normandie der Rückzug aus Frankreich begann. Ende November 1944 wurde Straßburg ganz überraschend besetzt. Für mich interessierte sich die amerikanische Alsos-Mission, deren Aufgabe es war, ausfindig zu machen, wie weit die Deutschen in der Uranentwicklung gekommen waren.

Hier möchte ich einfügen: Die Amerikaner hatten schon seit 1941 einen Reaktor in Betrieb und entwickelten die Atombombe. Das war uns aber vollkommen unbekannt. Zwar lasen wir in *Nature*, daß die Amerikaner für ein kriegswichtiges Projekt 125.000 Arbeitskräfte heranziehen. Für uns war aber unverständlich, wofür. Über Schweden erreichte uns die Mitteilung über eine Riesenbombe. Sie wurde im Juli 1944 in den Physikalischen Blättern abgedruckt. Sie klang so fantastisch, daß wir sie als Journalistengeschwätz ansahen. Beides betraf tatsächlich den Bau der Atombombe.

Von den deutschen Regierungs- und Wehrmachtstellen war Ende 1941 festgestellt worden, daß eine Atombombe vielleicht denkbar sei, daß die dazu nötige Isotopentrennung, d.h. Abtrennung von  $^{235}\text{U}$  auf jeden Fall einen riesigen technischen Aufwand erfordern würde, der während dieses Krieges, den man in vielleicht einem Jahr zu gewinnen hoffte, nicht möglich sei. Die Arbeiten zum Bau eines Reaktors (einer "Uranmaschine") mit Natururan wurde weitergeführt, aber es gelang bis zum Kriegsende nicht, einen solchen betriebsfertig zu machen. Soviel darüber.

Dann wurde ich als Kriegsgefangener nach USA gebracht. Im August 1946 war ich zurück in Deutschland und fand bei meiner Mutter in Erlangen bereits einen Brief aus Hamburg vor: "Wir hätten Sie gerne als Physik-Ordinarius." Am 1. April 1947 wurde ich in Hamburg ernannt, Kernphysik war damals für uns verboten. Ich wandte mich zu optischen Problemen, sie wurden unser Hauptarbeitsgebiet. Dann begannen wir auch den Bau einer Quelle für polarisierte Protonen zwecks späterer Verwendung an einem Teilchenbeschleuniger in der Hoffnung, daß Arbeiten über Kernphysik in nicht zu ferner Zukunft wieder erlaubt werden würden.

1953 wurde mir der Erlanger Lehrstuhl angeboten. Ich kehrte in meine Heimatstadt zurück. Mit Hilfe eines dann beschafften Beschleunigers konnten wir polarisierte Protonen auf 12 MeV bringen und damit eine Reihe interessanter Arbeiten durchführen. Darauf will ich aber nicht eingehen, sondern stattdessen einige Erfahrungen aus meinem Berufsleben beschreiben. Ich sagte schon, durch meine Doktorarbeit bei Gudden wurde ich zum Physiker. Gudden sagte manchmal: "Die Schwierigkeit ist immer klein, sie muß nur überwunden sein." Diesen Satz kann man oft anwenden, denn der Fortschritt besteht sehr häufig aus sehr vielen ganz kleinen Schritten, und es kommt immer wieder vor, daß man sich fragt, warum bin ich nicht schon viel früher auf diese einfache Idee gekommen. Gudden war vorher im Institut von Pohl in Göttingen. Nach meiner Doktorprüfung vermittelte er mir den Aufenthalt in Göttingen. Ich bekam zunächst eine Hilfskraft-Stelle bei Pohl. Bei Gudden und bei Pohl wurde mir sehr deutlich, daß man mit der Physik nur vertraut wird, wenn man die physikalischen Erscheinungen selbst beobachtet hat und darüber nachdenkt. Beschreibungen an der Tafel oder in einem Buch reichen nicht aus. Bei vielen Aussagen der Physik wurde immer wieder gefragt: Woher weiß man das eigentlich? Beruht das vielleicht auf einer Hypothese, oder erwartet man das aus einer Theorie, oder gibt es einen einwandfreien experimentellen Beweis dafür, und wie sieht dieser aus? Den jüngeren Kollegen sage ich daher: Die Vorlesung über Experimentalphysik muß sich laufend auf vorgeführte Experimente stützen. Bloße Beschreibungen an der Tafel, sogenannte "Kreidephysik" ist unzureichend. Die

Fähigkeit zu sicherer Anwendung grundlegender Aussagen muß entwickelt werden.

Dann noch ein wichtiger Punkt: Als Institutsdirektor muß man sich überlegen, welche Vorbedingungen notwendig sind, damit die Arbeit des Instituts erfolgreich laufen kann. Dazu muß einerseits im Institut ein Umgangston des Vertrauens herrschen, so wie ich ihn bei Gudden und bei Pohl erlebt habe. Andererseits muß man es fertigbringen, vor allem befähigten Nachwuchs ins Institut zu ziehen. Deshalb habe ich mir die Abnahme der Diplomvorprüfung der künftigen Diplomphysiker stets vorbehalten. Man bekommt dabei fast immer einen zuverlässigen Eindruck, was von dem Kandidaten in der Zukunft erwartet werden kann, seine geistige Beweglichkeit, ein waches Interesse an der Physik, Klarheit im Ausdruck und Denken sind zu erkennen. Wenn sich der Betreffende als gut erwiesen hatte und sich auch im Fortgeschrittenen-Praktikum bewährte, wurde ihm eine Diplomarbeit angeboten. In meinen letzten Amtsjahren habe ich oft Assistenten als Beisitzer zur Vorprüfung hinzugezogen, vor allem, um diesen Assistenten zu zeigen, was man bei einer solchen Prüfung erkennen kann. Begabung läßt sich entwickeln, aber mangelnde Begabungsanteile lassen sich durch Schulung nicht beheben. Es gibt heute leider zahlreiche Pädagogen, die das nicht wahr haben wollen.

Zum Schluß komme ich noch einmal zurück auf die Vorgeschichte der Uranspaltung. Fermi glaubte, wie bereits erwähnt, gefunden zu haben, daß die Substanz mit der Halbwertszeit 13 Minuten ein Transuran mit der Ordnungszahl 93 sei. Ida Noddack, die zusammen mit ihrem Mann einige wenige Jahre vorher das Element Rhenium, das Element mit  $Z = 75$  entdeckt hatte, nahm zur Arbeit von Fermi Stellung und schrieb wörtlich: "Bevor man behaupten kann, ein Transuran liege vor, muß man alle chemischen Elemente ausschließen, denn bei der Umwandlung eines so schweren Kerns wie Uran kann man annehmen, daß bei dieser neuartigen Kernzertrümmerung durch Neutronen erheblich andere Kernreaktionen stattfinden, als man sie bisher bei Einwirkung von Protonen und Alphastrahlen beobachtet hat [...]. Es wäre denkbar, daß bei der Beschießung schwererer Kerne mit Neutronen diese Kerne in mehrere größere Bruchstücke zerfallen, die zwar

Isotope bekannter Elemente, aber nicht Nachbarn der bestrahlten Elemente sind."

Bei den Physikern wurde diese "Meinung einer Chemikerin", ich möchte sagen, glatt vom Tisch gewischt. Das sei eine "unphysikalische Vorstellung". Denn seit Gamow wissen wir ja, daß nur benachbarte Elemente entstehen können. Damit war das Urteil verbunden: "Andere Prozesse gibt es nicht." Vor einer solchen Schlußweise möchte ich nachdrücklich warnen. Die Physiker waren damals "alle", wenn ich so sagen darf, der Meinung, daß nur benachbarte Elemente entstehen können. Auch Lise Meitner war keine Ausnahme. Sie betonte Hahn gegenüber von 1935 bis 1938 immer wieder: "Es können nur Elemente in der direkten Nachbarschaft des Elements 92 entstehen", und sie postulierte daher Transurane. Als die Anzahl der Transurane immer größer wurde, nahm sie die Existenz isomerer Zerfallsreihen von Transuranen an. Das war schon damals für viele ganz unglaubhaft und war ein Irrweg.

Wie sieht die damalige Entwicklung nachträglich aus? Segrè, ein damaliger Mitarbeiter von Fermi, der später zur Aufklärung dieser Probleme wesentlich beigetragen und den Nobelpreis erhalten hat, hielt vor zwei Jahren, kurz vor seinem Tod einen Vortrag über die Geschichte der Entdeckung der Kernspaltung. Er spricht jetzt, d.h. 50 Jahre später, offen über die Irrtümer, die damals passiert sind. Er schrieb: "Wir waren damals blind für die Möglichkeit einer Spaltung." Er nannte die Entwicklungsgeschichte eine "comedy of errors" und zählte 15 Irrtümer auf, die dabei passierten. Ich will nur einen davon besprechen.

Im Periodensystem gibt es bekanntlich die Gruppe der 14 Seltenen Erden, die nicht in die sonstige Periodizität passen. Im Jahr 1934 war zwar schon einigen wenigen Physikern aufgrund der Systematik des Aufbaus der Elektronenhülle bekannt, daß etwas Analoges bei den Ordnungszahlen 90 bis 103 auftreten muß. Fermi und seine Mitarbeiter wußten das damals noch nicht. Man glaubte, Element 93 sei chemisch homolog zu den Elementen Re und Mn. Hätten Fermi und seine Mitarbeiter schon damals gewußt, daß das Element 93 ganz andere chemische Eigenschaften hat, dann hätten sie die Substanz mit der

Halbwertszeit 13 min nicht für Element 93 gehalten, sondern sie hätten schließen können, daß es das noch fehlende Element der homologen Reihe, nämlich das Element 43 sei. Wenn sie das dann einwandfrei nachgewiesen hätten, wäre damit die Kernspaltung entdeckt gewesen, denn es handelte sich tatsächlich um das Isotop mit der Masse 101 des Elements 43, das man heute Technetium nennt.

Hahn und Straßmann wiesen die Uranspaltung Ende 1938 nach. Auch in Paris wurden die chemischen Eigenschaften der Umwandlungsprodukte von Uran plus Neutron mit großer Intensität untersucht, und zwar von Curie und Savitch. Sie waren nahe an der Entdeckung. Sie berichteten im Sommer 1938 über einen Stoff von 3,5 Stunden Halbwertszeit: "Es scheint also, daß dieser Körper nichts anderes sein kann, als ein Transuranelement, das aber von den anderen bekannten Transuranelementen sehr unterschiedliche chemische Eigenschaften besitzt, eine Hypothese, die Interpretationsschwierigkeiten aufwirft." Und weiter: "Insgesamt sind die Eigenschaften diejenigen des Lanthan, von dem man es anscheinend nur durch Fraktionierung trennen kann." Nachträglich weiß man, sie hatten eine Mischung aus einem Lanthan-Isotop und einem Yttrium-Isotop vor sich, zwei Spaltprodukten mit ganz ähnlichen Halbwertszeiten. Hätten sie den einen 3,5 Stunden-Körper eindeutig als Lanthan identifiziert, dann wären sie die Entdecker der Kernspaltung gewesen.

Hahn und Straßmann haben als erste fehlerhafte chemische Analysen, die allerdings mit unsichtbaren und unwägbaren Mengen ausgeführt werden mußten, durch richtige ersetzt. Seinen aufregenden Befund teilte Hahn sofort brieflich Lise Meitner mit, informierte sein eigenes Institut, aber erst 17 Tage später (am 2. Januar 1939). Lise Meitner konnte dann aufgrund der Mitteilung zusammen mit ihrem Neffen Frisch, der gerade bei ihr war, durch Vergleich der genauen Atomgewichte feststellen, daß beim "Zerplatzen" des Urans oder bei der "fission", wie Frisch es ins Englische übersetzte, auch eine beträchtliche Energiemenge, nämlich rund 200 MeV je zerplatzendem Urankern als kinetische Energie freiwerden.

Als sich später herausstellte, daß bei der "Spaltung", wie man den Prozeß dann auf deutsch bald nannte, auch einige Neutronen entste-

hen, war sofort weltweit klar, ich betone weltweit, bei allen Personen, die sich mit Kernumwandlung usw. befaßt hatten, daß dann höchstwahrscheinlich Energie aus Uran gewonnen werden kann, daß also ein Reaktor Energie liefert. Einige Zeit später wußte man dann auch, daß Isotop 235 maßgeblich beteiligt ist, und daß man wahrscheinlich Atombomben bauen kann, wenn die sehr sehr schwierige Abtrennung dieses nur 0,7 % ausmachenden Isotops gelingt.

Es gibt Leute, die sagen, Hahn hätte den Befund geheim halten sollen, dann hätte es keine Atombombe gegeben. Diese Folgerung ist irrig. Dann wäre die Uranspaltung kurze Zeit später von Curie und Savitch entdeckt worden. Im übrigen läßt sich ein Naturvorgang, den jeder beobachten kann, der sich die Hilfsmittel dazu beschafft, überhaupt nicht geheim halten. Meist trägt jeder Forscher zu den bisherigen Erkenntnissen nur eine kleine neue Teilkenntnis bei, und wir müssen uns darüber im klaren sein, daß wir überhaupt nur Teilkenntnis besitzen. Zwar bemühen wir uns, sie zu verbessern und zu vervollkommen, aber daß wir dabei, und sei es auch nur auf einem Teilgebiet, der Weisheit letzten Schluß schon gefunden hätten, dürfen wir uns auf keinen Fall einbilden.