

3 Die Kernspaltung wird entdeckt: Der Würfel ist gefallen

Die Strahlenchemiker vor allem in Berlin und Paris, nahmen die Ergebnisse über den Beschluß von Uran mit Neutronen in den römischen Berichten mit besonderem Interesse zur Kenntnis. Sie waren komplizierter als die über den Neutronenbeschuß auf jedes andere Element. Vier, wenn nicht gar fünf, radioaktive Reaktionsprodukte waren festgestellt worden, von denen wenigstens zwei aufgrund ihres chemischen Verhaltens von den Italienern für bisher unbekannte Elemente jenseits des Urans gehalten wurden, also für sogenannte Transuran-Elemente. In diesem Punkt hatten sie Unrecht. Was sie nicht gewußt hatten war, daß sie Kernspaltungsprozesse beobachteten; die neuen Substanzen waren Spaltprodukte, nämlich Isotope von ganz anderen Elementen als den Transuranen.

Die Nachrichten von den sonderbaren, neuen Reaktionsprodukten gelangten zu zwei der erfahrensten Strahlenchemiker der Welt, Otto Hahn und Lise Meitner, auf der Rückfahrt von einer internationalen Tagung zum Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin. Lise Meitner war eine Tante von Otto Frisch und arbeitete bei Otto Hahn seit sie 1907 für einen Zweijahresaufenthalt aus Wien zu ihm gekommen war (Tafel 2).

Ein Assistent von ihnen war sehr verwundert, daß sie vor einer Überprüfung der italienischen Experimente überhaupt noch ruhig schlafen konnten; Aristide von Grosse, ein alter Kollege von Hahn, bezweifelte Fermis Transuraninterpretation in einem Brief aus Amerika und heizte die Stimmung damit noch weiter an. „Wir fühlten uns verpflichtet, herauszufinden, wer von beiden recht hatte, Fermi oder Grosse“, meinte Hahn. Um diese Herausforderung anzunehmen, unterbrachen sie ihre anderen Forschungsvorhaben und ein anderer Radiochemiker, Fritz Straßmann, schloß sich ihnen an.

Bald stießen sie auf neue Schwierigkeiten. Schon 1937 besaßen sie eine Aufstellung von neuen Substanzen, die aus Uran gebildet werden. Eine davon war ganz korrekt als ein Uranisotop identifiziert worden. Das war ganz normal; aber die Eigenschaften der anderen acht Substanzen schienen Fermis Transuranhypothese zu unterstützen, die aber schwerwiegende kernphysikalische Probleme aufwarf.

Unterdessen nahm auch Irène Joliot-Curie das Problem in Angriff, und zwar gemeinsam mit dem jugoslawischen Physiker Pavle Savitch. Sie entdeckten eine weitere Substanz, die sie dann besonders sorgfältig untersuchten

Die Kernspaltung wird entdeckt: Der Würfel ist gefallen

in der Absicht, sie zweifelsfrei zu identifizieren. Eigenartigerweise verhielt sie sich wie Lanthan, ein Element der Gruppe der *Seltenen Erden*, deren Atome etwas größer sind als ein halbes Uranatom. Heute wissen wir, daß es wirklich Lanthan war, und daß Joliot-Curie und Savitch um Haaresbreite die Entdeckung der Kernspaltung verfehlt hatten. Nur ein unglücklicher Versuch brachte sie von der Fährte ab, und sie mißinterpretierten die neue Substanz als das ganz ähnliche Element Actinium. Dies schien tatsächlich plausibler, denn der Sprung vom Uran zum Actinium ist wesentlich kleiner als der zum Lanthan (eine Abnahme von 3 gegenüber 35 positiven Ladungen).

Vermutlich hätte Irène gemeinsam mit ihrem Mann, Frédéric Joliot die richtige Antwort gefunden, wenn er mit seinem physikalischen Verständnis dem Problem seine Aufmerksamkeit zugewandt hätte. Aber er war mit zu vielen anderen Dingen beschäftigt, etwa mit der Grundsteinlegung im *Collège de France*, mit dem Bau von Kern-Beschleunigern und mit Streitereien mit der Regierung um Geldmittel. Zusätzlich wurde er für politisch linke Bewegungen im Kampf gegen Faschismus und Hitlerismus immer aktiver.

Natürlich hatte er auch weiterhin Kontakt zu den neuesten Fortschritten in der Kernphysik und nach diesen erwähnten Aktivitäten sprach er anlässlich einer wissenschaftlichen Konferenz in Rom mit Otto Hahn. Hahn sagte, daß er bei allem Respekt vor Irène dabei sei, deren Versuche zu wiederholen in der Annahme, daß ihr ein Fehler unterlaufen sei. Aber als er und seine Kollegen die Experimente ausgeführt hatten, dachten sie, daß sie die französischen Behauptungen bestätigt hätten, und erweiterten sie um zwei andere *Actinium*-isotope sowie drei *Radium*isotope, die die Vorläufer oder Eltern der drei *Actinium*isotope wären. Das *Radium* zeigte ein ähnliches chemisches Verhalten wie Barium, und heute wissen wir, es war Barium, aber man kann diese beiden Elemente leicht verwechseln, und Hahn rechnete ja damit, Radium zu finden.

In jener Zeit wurde die Berliner Arbeitsgruppe durch den Anschluß Österreichs an das Reich auseinandergerissen. Lise Meitner war nicht mehr durch ihre österreichische Staatsbürgerschaft geschützt, sondern automatisch Deutsche geworden und den nationalsozialistischen Rassegesetzen unterworfen. Die Ausreise wurde ihr untersagt, aber mit Hilfe holländischer Freunde gelangte sie illegal und ohne Visum über die niederländische Grenze. Otto Hahn wartete gespannt auf die Nachricht ihrer glücklichen Ankunft. Sie hatte Glück; viele andere Flüchtlinge wurden verhaftet. Von Holland aus ging sie nach Schweden, von wo sie zur Einwanderung aufgefordert worden war. Aber dort im Exil, ohne die benötigten Apparate und ohne kernphysikalische Diskussionspartner fühlte sie sich wenig glücklich. Auch Hahn vermißte sie schmerzlich, aber setzte die mit ihr begonnene Forschung fort.

Hahn trug kurz darauf die gemeinsamen Uran-Untersuchungen in Kopenhagen vor, aber Bohr stellte die Ergebnisse in Frage. Als Kernphysiker

Die Kernspaltung wird entdeckt: Der Würfel ist gefallen

konnte Bohr sich nicht vorstellen, wie aus Uran mit Hilfe langsamer Neutronen Radium gebildet werden könne. Hahn antwortete, daß er als Chemiker nicht erkennen könne, daß seine Substanz etwas anderes als Radium sein könnte. Daraufhin machte Bohr den Vorschlag, daß sie es vielleicht mit einem besonderen Transuranelement zu tun hätten. Beide erkannten nicht die richtige Erklärung, daß sich die Substanz nicht nur wie Barium verhielt, sondern Barium *war*. Dies zeige, so bemerkte Hahn später, wie abenteuerlich, ja unmöglich es damals erschien, Barium als das Reaktionsprodukt zu betrachten.

Trotzdem arbeiteten Hahn und Straßmann auf dem einmal eingeschlagenen Weg weiter und versuchten den letzten Schritt, die Trennung des *Radium* vom Barium. Mit den praktischen Methoden waren sie vollkommen vertraut, aber die Ausführung war mühevoll, weswegen sie diese Experimente vermutlich auch nicht schon früher gemacht hatten. Zu ihrer Bestürzung mißlang die Trennung. Zur Kontrolle fügten sie eine bekannte Menge des Radiumisotops Mesothorium I bei und versuchten die Trennung erneut. Das echte Radiumisotop verhielt sich normal, aber die Substanz, die sie hartnäckig zu identifizieren versuchten, verblieb beim Barium. Das war am Samstag, den 17. Dezember 1938, und Hahn schrieb in sein Notizbuch: „Aufregende Fraktionierung von Radium/Barium/Mesothorium“.

Am Montag, den 19. Dezember, begannen sie mit einer experimentellen Nachprüfung. Wenn das unbekannte Isotop wirklich Barium und nicht Radium war, dann sollte das Tochterisotop Lanthan und nicht Actinium sein, und das konnte durch eine Trennung parallel zu der gerade durchgeführten nachgeprüft werden. Während die Trennung noch durchgeführt wurde, schrieb Hahn einen langen Brief an Meitner, der in seinem Buch *Mein Leben* (Bruckmann, München 1968) zitiert ist. In ihm sagte er:

„... Es ist jetzt gleich 11 Uhr abends; um ¼12 will Straßmann wiederkommen, so daß ich nach Hause kann allmählich. Es ist nämlich etwas bei den *Radiumisotopen*, was so merkwürdig ist, daß wir es vorerst nur Dir sagen. Unsere Ra-Isotope verhalten sich wie Ba. Vielleicht kannst Du irgendeine phantastische Erklärung vorschlagen. Wir wissen dabei selbst, daß es eigentlich nicht in Ba zerplatzen kann. Nun wollen wir noch prüfen, ob sich die aus dem „Ra“ entstehenden Ac-Isotope nicht wie Ac, sondern wie La verhalten. Alles recht heikle Versuche! Aber wir müssen doch klarwerden ...“

Am Dienstag fand die Weihnachtsfeier im Kaiser-Wilhelm-Institut statt, aber schon Mittwoch abend war die experimentelle Nachprüfung beendet. Das *Actinium* war tatsächlich Lanthan. Am Donnerstag, den 22. Dezember, schrieben Hahn und Straßmann eine kurze Mitteilung an die *Naturwissenschaften*, in der sie dieser wissenschaftlichen Zeitschrift ihre *entsetzlichen Schlüsse*

Die Kernspaltung wird entdeckt: Der Würfel ist gefallen

beschreiben, wie Hahn es in seinem Brief an Meitner nannte, eine Schlußfolgerung, die aller vorhergehenden Erfahrung in der Kernphysik widersprach. Der Herausgeber, Paul Rosbaud, war derart beeindruckt, daß er für die Mitteilung Platz schuf, obwohl anderes Material schon zum Druck fertig war. Dies Heft erschien am 6. Januar 1939.

Meitner hatte Hahns Brief inzwischen erhalten. Sie verbrachte Weihnachten mit schwedischen Freunden in Kungälv bei Göteborg. Ihre erste Reaktion auf Hahns Neuigkeiten war zurückhaltend, aber sie war stets aufgeschlossen. „Wir haben in der Kernphysik so viel Überraschungen erlebt, daß man dies nicht zurückweisen kann, in dem man einfach sagt, das sei nicht möglich.“

Ihr Neffe Frisch war von Kopenhagen herübergekommen, um die Feiertage mit ihr zu verbringen. Nach seiner ersten Nacht in Kungälv sah er sie über jenem Brief grübeln. Er wollte über ein neues Experiment mit ihr diskutieren, das er mit einem großen Magneten vorhatte, aber seine Tante bestand darauf, daß er den Brief las. Später sagte er: „Sein Inhalt war so aufsehenerregend, daß ich zunächst geneigt war, zu zweifeln . . . Die Vermutung, sie hätten schließlich einen Fehler gemacht, wurde von Lise Meitner ausgeschlossen; dafür sei Hahn ein zu guter Chemiker, versicherte sie mir“.

Meitner und Frisch diskutierten das Problem bei einem Waldspaziergang im Schnee. Der Bariumatomkern ist kaum größer als der halbe Urankern; wie um alles in der Welt konnte der eine aus dem anderen gebildet werden? In allen zu jener Zeit bekannten Kernreaktionen bröckelten von einem Kern höchstens kleine Bruchstücke ab. Der Abbau von Uran zu Barium würde eine große Anzahl von Bruchstücken ergeben und dafür war nicht genug Energie verfügbar.

Der Urankern könnte auch nicht in zwei zerbrechen, denn Atomkerne sind nicht spröde wie Glas. Vor Jahren schon war der Gedanke geäußert worden, daß sie aber Flüssigkeitströpfchen ähnelten, und dies lieferte schließlich den Schlüssel für das Verständnis.

„Ein Tropfen könnte sich vielleicht allmählich in zwei kleinere Tröpfchen spalten, indem er zunächst länger wird, sich in der Mitte zusammenzieht und endlich in zwei eher zerrissen als zerbrochen wird? Wir wußten, daß es starke Kräfte gibt, die sich einem derartigen Vorgang entgegen wirken, ebenso wie sich die Oberflächenspannung eines normalen Flüssigkeitstropfens der Teilung in zwei kleinere widersetzt. Aber Kerne unterscheiden sich von gewöhnlichen Tropfen auf eine wesentliche Art: sie sind elektrisch geladen, und bekanntlich erniedrigt dieser Umstand die Oberflächenspannung.

An dieser Stelle setzten wir uns auf einen Baumstamm . . . und begannen Berechnungen auf einem Fetzen Papier. Die Ladung des Urankerns war

Die Kernspaltung wird entdeckt: Der Würfel ist gefallen

tatsächlich groß genug, um die Oberflächenspannung fast vollständig zu kompensieren; so könnte der Urankern tatsächlich ein wackliger instabiler Tropfen sein, der sich bei der geringsten Störung zerteilt (diese Störung war der Aufprall eines Neutrons).“

Als sie diesen Gedankenaustausch weiterverfolgten, erkannten sie einen möglichen Haken. Die beiden kleineren Tröpfchen, in die sich der Urankern teilt, mußten sich in die ursprüngliche Kernladung teilen, und – da sich gleichartige Ladungen abstoßen – würden die beiden Teile mit großer Energie auseinanderfliegen. Diese Energie war leicht berechnet, und war viel größer als man sie bisher in kernphysikalischen Laboratorien kannte. Sie betrug etwa 200 Mio. Elektronenvolt. Woher konnte sie stammen? Die Antwort war, daß Masse in Energie umgewandelt worden war in Übereinstimmung mit Einsteins Beziehung $E = mc^2$. Die beiden kleineren Kerne wogen zusammen etwas weniger als der Urankern, aus dem sie gebildet sind. Meitner berechnete die Differenz zu etwa einem Fünftel der Protonenmasse, und wenn dies in Einsteins Relation eingesetzt wurde, bekam die betreffende Energie gerade den richtigen Wert. Alles paßte zusammen! Der Urankern war in Stücke zerplatzt (Abb. 5).

Nach Weihnachten kehrte Meitner nach Stockholm zurück, während Frisch in erheblicher Erregung nach Kopenhagen zurückreiste, um Bohr von ihren theoretischen Betrachtungen zu berichten. Bohr hatte bis dahin keine Ahnung, denn die *Naturwissenschaften* mit Hahn und Straßmanns Arbeit war noch nicht erschienen.

„Als ich Bohr erreichte, hatte er nur wenige Minuten übrig (vor einer Abreise nach den USA), aber ich hatte kaum angefangen, ihm zu erzählen, als er sich mit der Hand gegen die Stirn schlug und erklärte: „Oh, wie dumm wir doch alle waren! Oh, ist das wundervoll! Es ist genau so, wie es sein muß! Haben Sie und Lise Meitner eine Veröffentlichung darüber geschrieben?“ Ich sagte, wir hätten es noch nicht, aber würden es gleich

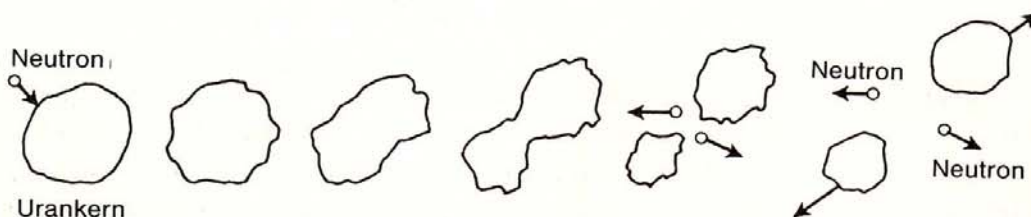


Abb. 5. Eine anschauliche Darstellung der Kernspaltung. Der Kern absorbiert ein Neutron, wird instabil, schnürt sich ein und teilt sich in zwei Kerne, wobei gleichzeitig zwei oder drei Sekundärneutronen freigesetzt werden

Die Kernspaltung wird entdeckt: Der Würfel ist gefallen

tun, und Bohr versprach, darüber nicht zu sprechen, bis die Arbeit herausgekommen wäre. Dann war er draußen, um das Schiff zu erreichen.“

Die Publikation wurde über das Telephon entworfen und am 16. Januar 1939 an die *Nature* nach London gesandt, und zwar mit dem Titel: *Eine neue Art von Kern-Reaktionen*. Meitner und Frisch nannten den neuen Vorgang *Kernspaltung*. Diese Arbeit wurde begleitet von einer zweiten Mitteilung, in der Frisch auf Betreiben von Georg Placzek, einem anderen Kollegen und jüdischen Flüchtling in Kopenhagen, die hohe kinetische Energie der beiden Kernspaltungsbruchstücke experimentell bestätigte. Frisch nannte dies ein *sehr einfaches* Experiment, denn für die Zusammenstellung des Apparates hierfür benötigte er nur zwei Tage.

Die beiden Arbeiten erschienen am 11. und am 18. Februar. Für Meitner und Frisch war es gut, daß sie so rasch gehandelt hatten, denn nach der Lektüre der Arbeit von Hahn und Straßmann zogen auch andere alsbald ähnliche Schlußfolgerungen.

Bohr kam mit seinem Kollegen Leon Rosenfeld am gleichen Tag in New York an, an dem Meitner und Frisch ihre Mitteilungen an die *Nature* abgesandt hatten. An Bord hatten sie die Kernspaltung aus allen möglichen Blickwinkeln besprochen, aber unglücklicherweise hatte Bohr vergessen, Rosenfeld um Geheimhaltung der Neuigkeit bis zu deren Erscheinen zu ersuchen. Bohr blieb in New York, um Fermi in der Columbia Universität zu besuchen, während Rosenfeld weiter nach Princeton reiste, wo er die Katze aus dem Sack ließ. (Die *Naturwissenschaften* waren vermutlich noch nicht in den USA angekommen). Zu Rosenfelds Schrecken löste dies einen Wettlauf unter amerikanischen Physikern aus, die vor allem darauf erpicht waren, die große Energie der Spaltbruchstücke zu beweisen, ohne aber zu wissen, daß Frisch gerade dies schon getan hatte. Die Abteilung Physik in Princeton wirkte wie ein *aufgeseuchter Ameisenhaufen*.

Auf einer Konferenz über theoretische Physik in Washington Ende Januar spitzte sich die Diskussion zu. Bohr mußte notgedrungen die ganze Geschichte erzählen, angefangen von Hahn und Straßmanns Entdeckungen; dies geschah am 26. Januar. Berichten zufolge stürmten einige der Anwesenden, noch ehe Bohr beendet hatte, im Abendanzug in ihre Labors, um zu den Teilnehmern am Wettlauf um die Entdeckung zu gehören. Eine andere Erzählung berichtet von einem Physiker, der mit seinem Apparat nach dem Nachweis von Spaltprodukten sucht und gleichzeitig zu einem Journalisten durchs Telefon sagt: „Da ist wieder eins“. Kaum je zuvor erlebte die wissenschaftliche Welt einen derartigen Wettlauf um neue Entdeckungen. Bohr und Rosenfeld hatten einigen Ärger mit der Durchsetzung der wahren Prioritäten gegenüber falschen Zeitungsberichten.

Die Auswirkung von Hahn und Straßmanns, Meitner und Frischs Arbeit war wie das Anknipsen von Licht in einer Dunkelkammer. Diejenigen, die

Die Kernspaltung wird entdeckt: Der Würfel ist gefallen

sich auch auf diesem Gebiet vorgetastet hatten, sahen jetzt klarer, und andere stürzten sich auf das Forschungsgebiet. Neue Ergebnisse kamen nun aus Kopenhagen, Cambridge, Paris, Berlin, New York, Berkeley, – eigentlich aus allen kernphysikalischen Zentren der Welt.

Einige blickten mit Bedauern zurück auf das Ziel, das sie verfehlt hatten. In Cambridge waren tatsächlich starke elektrische Stromstöße beobachtet worden, die durch Kernspaltung verursacht waren, aber als Apparatefehler abgetan wurden. Irène Joliot-Curie, die Hahn und Straßmanns Entdeckung beinahe zuvorgekommen wäre, meinte wie Bohr: „Was sind wir doch für Narren gewesen!“.

Anstatt sich über die verpaßte Gelegenheit zu beklagen, sorgte ihr Mann, Frédéric Joliot, dafür, daß die Arbeitsgruppe in Paris im nächsten Akt dieses Stückes eine bedeutendere Rolle spielen würde. Als ihn die *Naturwissenschaften* mit Hahn und Straßmanns Arbeit am 16. Januar erreichte, verbrachte er einige Tage mit tiefem Nachdenken. Unabhängig von Meitner und Frisch kam er zu dem Ergebnis, daß Spaltung die Erklärung von Hahn und Straßmanns Ergebnissen sein muß, und auch zu der Erkenntnis, daß die Spaltungsbruchstücke eine sehr große Energie haben müßten. Um letzteres zu zeigen, wurde am 26. Januar in Paris ein Experiment durchgeführt, das Joliot und seine Mitarbeiter so sehr von der Tatsache der Spaltung überzeugte, daß sie alles andere fallen ließen, um den Konsequenzen dieser Erscheinung nachzugehen.