

6. Hahn, Meitner, Strassmann, die Spaltung des Urankerns und $E = mc^2$



Lise Meitner 1878 - 1968 und Otto Hahn 1879 – 1968



Fritz Strassmann (1902 – 1980, links) und Otto Hahn

Der erste, noch eher indirekte Beweis der Äquivalenz von Masse und Energie gemäß Einsteins 'Weltformel' $E = mc^2$, sowie der Umwandelbarkeit von Masse in Energie und umgekehrt, wurde von **Aston** erbracht. Er konnte Anfang der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts mit den von ihm entwickelten **Massenspektrometern** konkurrenzlos genau **Atommassen** bestimmen. Dabei fand er heraus, dass die Masse der Atome **kleiner** war als die Massensumme ihrer Bausteine (einschließlich der Elektronen). Dieser **'Massendefekt'** ΔM ließ sich als **Bindungsenergie** ΔE der Nukleonen des Atomkerns (und der Elektronen) interpretieren gemäß

$$\Delta E = \Delta M c^2 \quad (6.1)$$

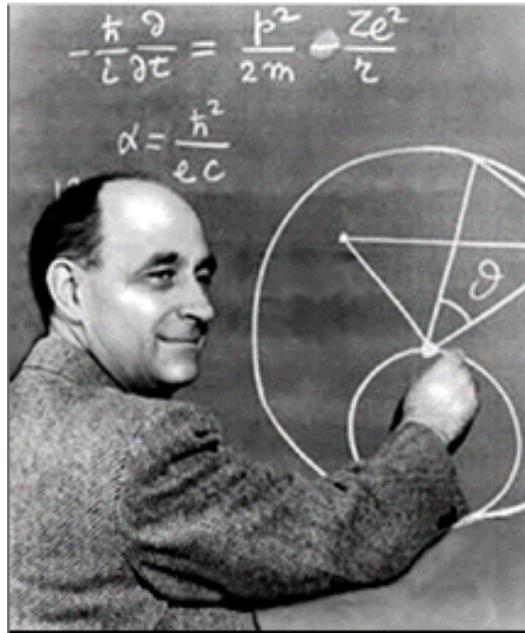


Francis W. Aston 1877 – 1945

Der weltpolitisch bedeutsame Aspekt von $E = mc^2$ ergab sich aber erst aus der 1938 in Dahlem entdeckten Spaltung des Urankerns in Form der nur knapp sieben Jahre später gezündeten **Atombomben** über Hiroshima und Nagasaki. Die Geschichte und Vorgeschichte der Entdeckung der Kernspaltung ist typisch für die meisten großen Entdeckungen in der Physik: die Spaltung von Atomkernen war schon in früheren Experimenten erzeugt, aber einfach nicht 'gesehen' worden.

Enrico Fermi hatte unmittelbar nach der Entdeckung des Neutrons durch Chadwick im Jahr 1932 damit begonnen, in seinem Labor in Rom **Uranatome mit Neutronen zu beschießen** (aus Neutronen emittierenden radioaktiven Quellen). Er fand dabei **'neue' Nuklide**, die er aber falsch interpretierte. In Wirklichkeit hatte er mit seinen Neutronen bereits die **Spaltung des Urankerns** erzeugt, war aber 'blind' dafür gewesen.

Frédéric und Irène Joliot-Curie hatten 1934 in Paris das **erste 'künstliche' radioaktive Nuklid (^{30}P)** durch Beschuß von Aluminium mit α -Strahlen hergestellt, und dabei **Neutronen und Positronen** beobachtet ($\alpha + {}^{27}\text{Al} \rightarrow {}^{30}\text{P} + \text{n}$; ${}^{30}\text{P}$ zerfällt mit einer Halbwertszeit von drei Minuten durch β^+ -Zerfall zu ${}^{30}\text{Si}$).



Enrico Fermi 1901 – 1954

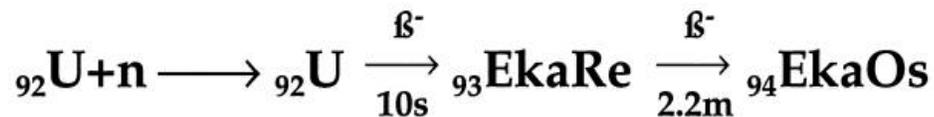


Irène (1897-1956) und Frédéric Joliot-Curie (1900 -1958) um 1935

Im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Dahlem arbeiteten die Chemiker **Otto Hahn** und **Fritz Strassmann** ebenfalls an der Reaktion (abgebremste) Neutronen \rightarrow Uran. **Lise Meitner**, Wiener Physikerin und Mitarbeiterin Hahns seit 1912(!), hatte im Frühjahr 1938 als 'Halbjüdin' vor der Verfolgung durch die Nazis nach Stockholm flüchten müssen.

Die beiden Chemiker suchten mit **chemischen Methoden** nach möglichen neuen **Radionukliden in der Nähe des Urans** (z.B. Eka-Rhenium, Eka-Osmium...), die durch den Neutronenbeschuss entstanden sein konnten.

HAHN, MEITNER, STRASSMANN 1936-1937

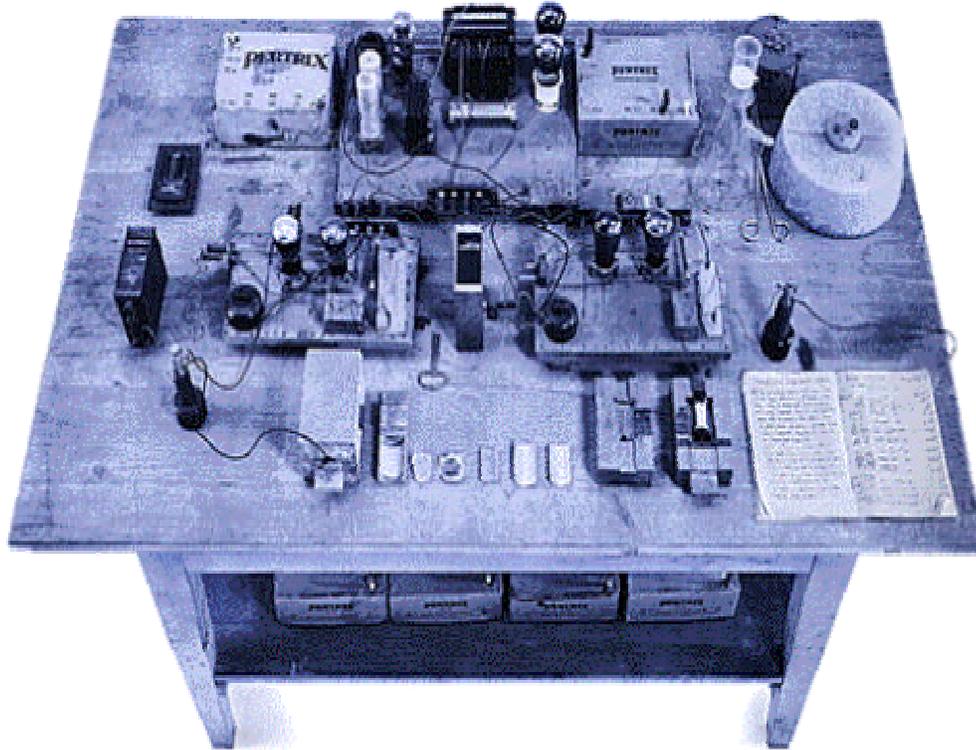


XBD9611-05696.TIF

Von Hahn, Meitner und Strassmann erwogene Reaktionsprodukte beim **Beschuss von Uran mit Neutronen**. Durch den Einfang eines Neutrons in den Uran-238-Kern sollte man durch eine **Kette von β^- Zerfällen** zu **immer höheren Kernladungszahlen** (bis $Z=97$) und den chemischen **Homologen** von **Rhenium, Osmium, Iridium, Platin** und **Gold** gelangen.

Das übliche Verfahren war dabei die Trennung von Uran und neuen Produkten durch **Bariumsalz**. Aber im November 1938 gelang diese Trennung nicht, es zeigte sich vor allem keine Spur von Radium. 'Es schien', so schrieb Otto Hahn an Lise Meitner, 'als sei in den Folgeprodukten etwas, das sich chemisch wie Barium verhält, oder sogar Barium selbst.

Aber er konnte es nicht so recht glauben und bat daher Lise Meitner um eine Deutung dieses Befunds. Dennoch wurden die Ergebnisse -in vorsichtiger Formulierung- am **2. Dezember 1938 veröffentlicht** und erregten sofort weltweites Aufsehen. Inzwischen war Lise Meitner in langen Gesprächen mit ihrem Neffen Otto Frisch zu dem Schluss gekommen, dass Hahn und Strassmann in **Barium ($Z=56$) ein 'Spaltprodukt' des Urankerns ($Z=92$)** gefunden hatten, dessen 'Partner' flüchtiges Krypton ($Z=36$) gewesen sein musste. Ab da ging das Wort **'Atomzertrümmerung'** nicht mehr aus den Köpfen der 'Radiophysiker', wie sie damals noch hießen.

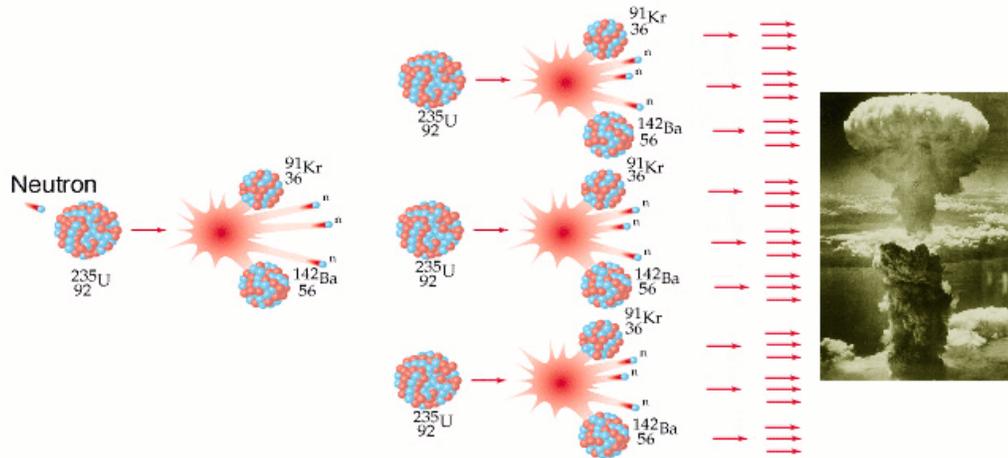


Der originale **Dahlemer Experimentiertisch** (Deutsches Museum, München)

Verglichen mit heutigen Experimentiereinrichtungen sieht dieser Tisch, an dem Weltgeschichte gemacht wurde, billig und geradezu primitiv aus. Außer einigen Pertrix-Batterien, einem kuchenähnlichen Paraffinklotz, Kabeln, glühlampenähnlichen Gebilden, einem Reagenzglas, einer Schere und dem Laborbuch lässt sich nicht allzuviel identifizieren. In der Tat brauchte man nicht mehr als 1. eine α -Quelle für den Beschuss von ^{27}Al zur Erzeugung von (schnellen) Neutronen. 2. einen 'Moderator' (Paraffin) zum Abbremsen der Neutronen. 3. Uran und 4. etwas 'Chemie'.

Ab da ging die Entwicklung fast im Zeitraffertempo: Die Joliot entdeckten 1939, dass bei der Uranspaltung **viele Neutronen** entstehen und eine **große Energie frei wird**. Dann lernte man, dass das **^{235}U -Isotop** besonders stark abgebremste Neutronen einfängt und dass der Folgekern ^{236}U einen starken 'Spaltkanal' hat mit einer **mittleren Zahl von drei Neutronen pro Spaltung**.

Damit war die Möglichkeit einer '**Kettenreaktion**' gegeben mit einer unvorstellbaren Freisetzung von Energie. Siegfried Flügge, ein theoretischer Physiker in Dahlem, kleidete dies in ein besonders eindruckliches Beispiel: für eine angenommene freiwerdende Energie von **100 MeV pro Spaltung** würde die **in 10 kg ^{235}U** ($2,5 \times 10^{25}$ Atome) 'verborgene' **Spaltenergie** von etwa **4×10^{13} J** ausreichen, um den **gesamten Wannsee** (ca. 0,45 Milliarden Tonnen Wasser; ca. 4x4 km, mittlere Tiefe ca. 30 m) **um etwa 10 Meter anzuheben**.



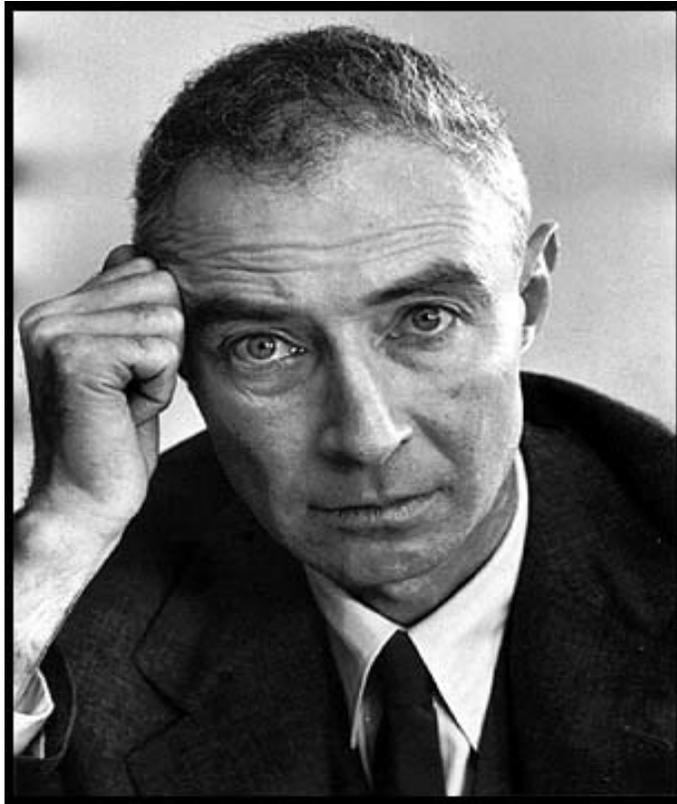
Auf dem Weg zur friedlichen oder unfriedlichen Nutzung dieser neuen Energiequelle musste man im wesentlichen nur ein einziges Problem lösen: die signifikante **Anreicherung von ^{235}U** aus dem natürlichen Isotopengemisch, bei dem der Anteil von ^{235}U nur etwa 0,7% beträgt. Hatte man solch angereichertes Uran-235, trennten sich die Wege. Für die kontrollierte, **friedliche** Nutzung musste man die schnellen **Spaltneutronen moderieren** und deren **Zahl** durch variable Neutronenabsorber so **steuern**, dass es zwar zu einer stetigen Energiefreisetzung, aber nicht zur unkontrollierten, exponentiell anwachsenden Kettenreaktion kommen konnte. Diesen Weg beschriftet **Enrico Fermi**. Am **2. Dezember 1942** erzielte er in einem Labor in Chicago die **erste kontrollierte und Energie freisetzende Kettenreaktion**.

Da am 1. September 1939 der zweite Weltkrieg begonnen hatte, lag der Gedanke an eine **militärische** Nutzung der neuen Energie leider viel näher. Da die Kernspaltung in Deutschland entdeckt worden war, fürchteten amerikanische -und vor allem die vielen aus Europa emigrierten Physiker- die Nazis könnten die deutschen Physiker zum Bau einer '**Atombombe**' auffordern (oder zwingen?). Vor allem Leo Szilard (aus Ungarn) drängte Einstein, am 2. August 1939 einen Brief an Roosevelt zu schreiben, in dem eindringlich auf diese Gefahr hingewiesen wurde.



Einstein in Princeton mit Leo Szilard (1898 - 1964) diskutierend

Der Fortgang ist bekannt (und z.B. ausführlich in Robert Jungks Buch 'Heller als tausend Sonnen' beschrieben): das größte wissenschaftliche Projekt der Geschichte, **'Manhattan'**, wurde am 6. Dezember 1941 von Roosevelt beschlossen und in Windeseile begonnen. In Los Alamos wurden alle bekannteren Physiker konzentriert, deren man habhaft werden konnte. Unter der wissenschaftlichen Leitung von Robert **Oppenheimer** und der militärischen von General Leslie **Groves** sollte 'noch vor den Nazis' eine Atombombe gebaut werden. In Oak Ridge wurden riesige Anlagen zur Isotopentrennung von Uran errichtet.



Robert Oppenheimer (1904 - 1967), der 'Vater' der Atombombe

Für eine Bombe gab es -neben der Anreicherung von ^{235}U , bzw. der Herstellung von ^{239}Pu - hauptsächlich **drei** Probleme, die zu lösen waren. Wie groß ist die **'kritische Masse'** (ca. 50 kg für ^{235}U , ca. 10 kg für ^{239}Pu) ? **Wieviele Neutronen entweichen** aus der Oberfläche und gehen für eine Kettenreaktion verloren ? Wie kann man die **Zufuhr von Neutronen exakt zeitgleich** mit der Zusammenführung der (unkritischen) Teilmassen **zur kritischen Masse** erreichen ?

Am Morgen des **16. Juli 1945** explodierte auf dem Testgelände von **Alamogordo** in der Wüste von New Mexiko die erste 'Atombombe', blasphemisch (oder weil es ursprünglich drei Bomben waren ??) **'Trinity'** genannt, deren unvorstellbare Stärke von 18 000 Tonnen TNT die Berechnungen der Physiker noch übertraf.



'Ground Zero' (der Name wurde für das zerstörte WTC übernommen)



'Trinity' am 16. Juli 1945 um 5h in Alamogordo

Bhagavad Gita: 'Now I am become Death, the destroyer of worlds...'