

Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

4.1 Rutherfords Streuexperimente

4.2 Die Entdeckung des Neutrons

4.3 Die Nuklidkarte und Tröpfchenmodell

4.4 Kernreaktionen, Kernspaltung

4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner

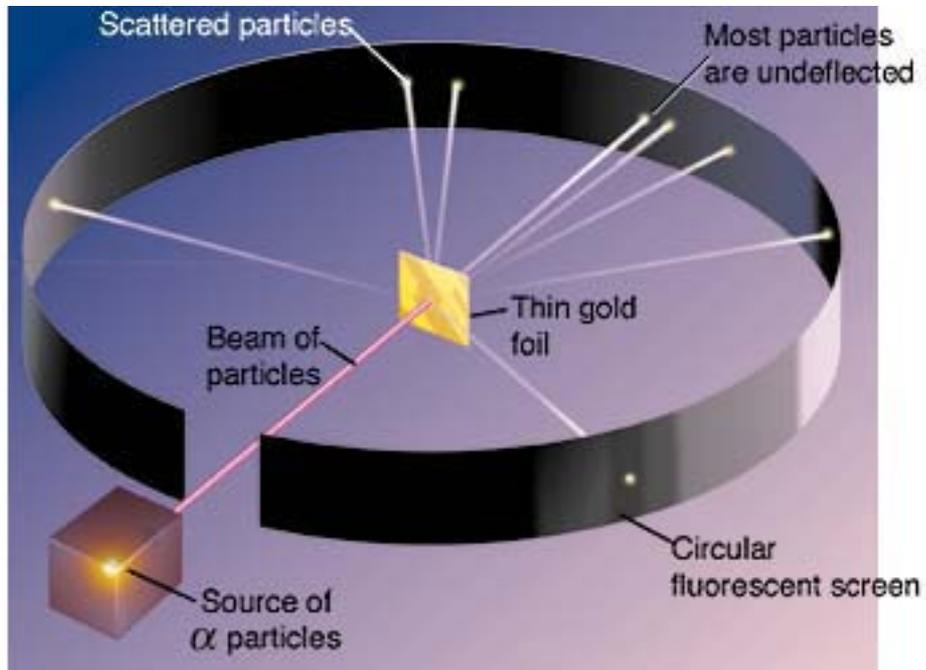
4.6 Der Wettlauf um die Atombombe

4.7 Biographie: Enrico Fermi

4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns

2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

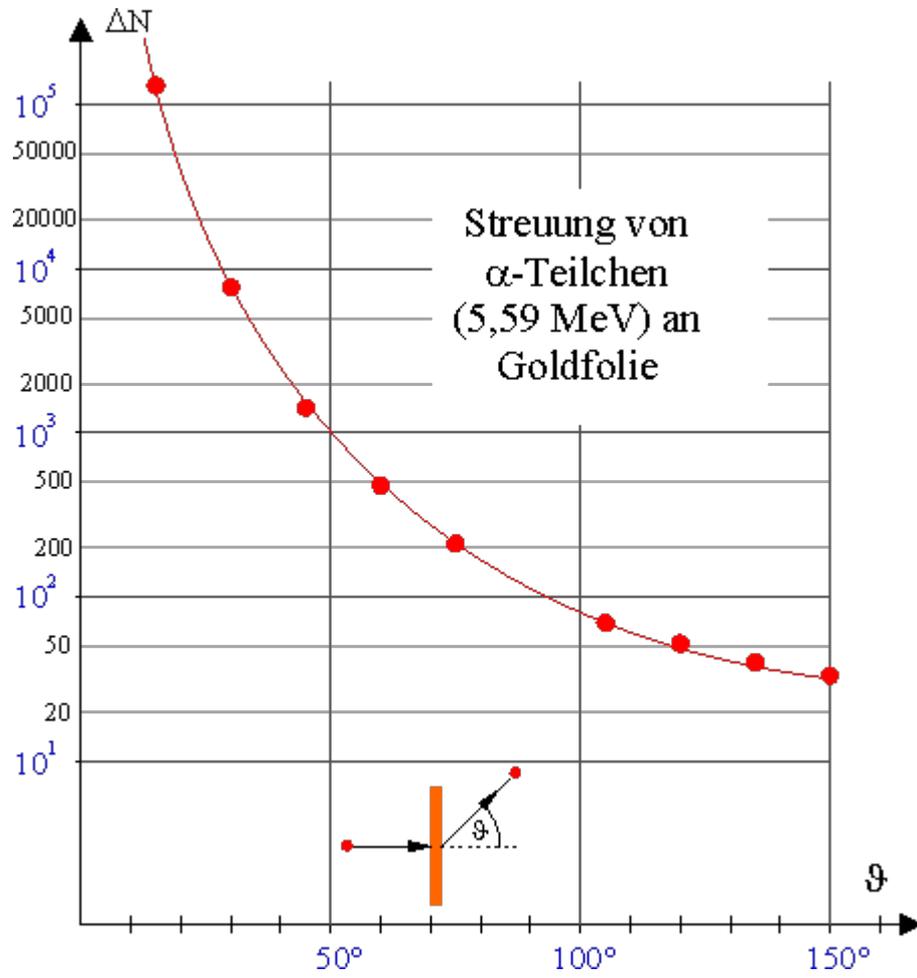
Entdeckung des Atomkerns durch Rutherford (1911)



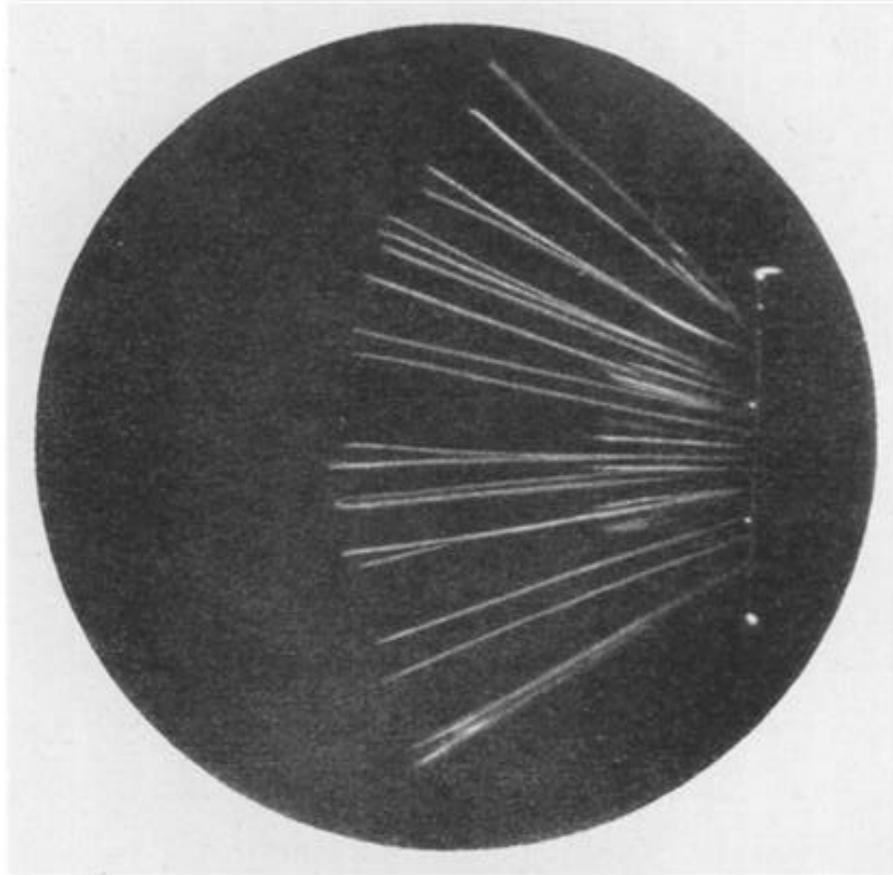
Apparatur zur Streuung von α -Teilchen an Goldkernen



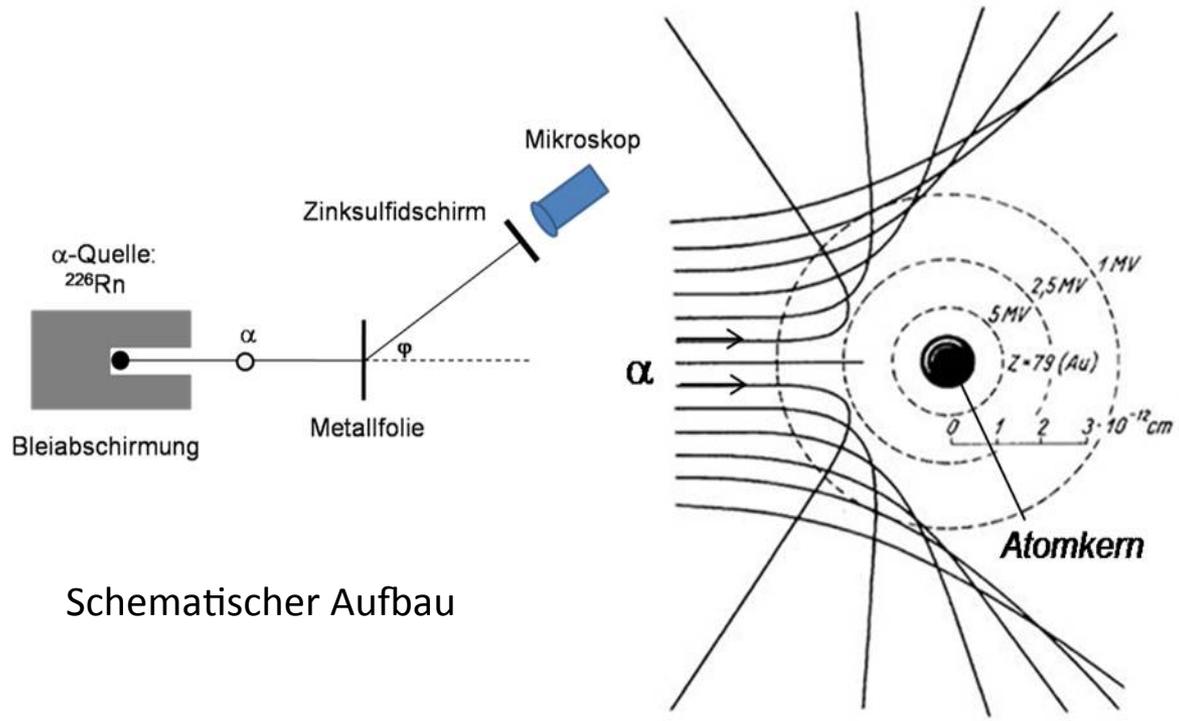
Ernest Rutherford
(1871 – 1937)



Nebelkammeraufnahme von Alphastrahlung



Rutherford'scher Streuversuch



Schematischer Aufbau

Verschiedene Bahnen der Alphateilchen im elektrischen Feld des Atomkerns

Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

4.1 Rutherfords Streuexperimente

4.2 Die Entdeckung des Neutrons

4.3 Die Nuklidkarte und Tröpfchenmodell

4.4 Kernreaktionen, Kernspaltung

4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner

4.6 Der Wettlauf um die Atombombe

4.7 Biographie: Enrico Fermi

4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns

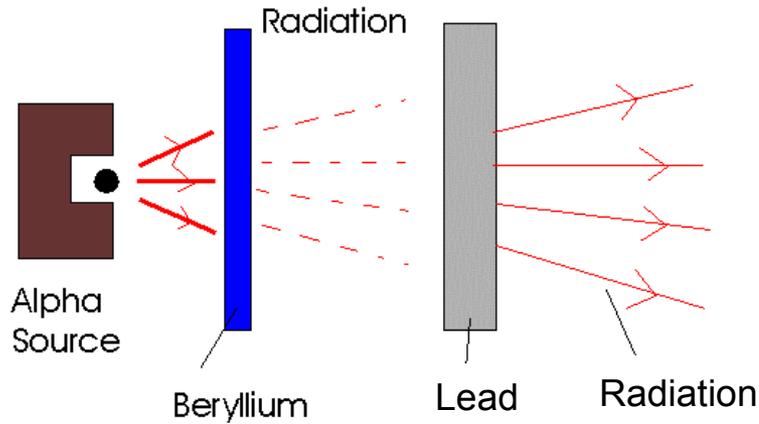
2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

Nebelkammeraufnahme einer Kernreaktion

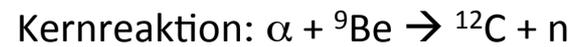
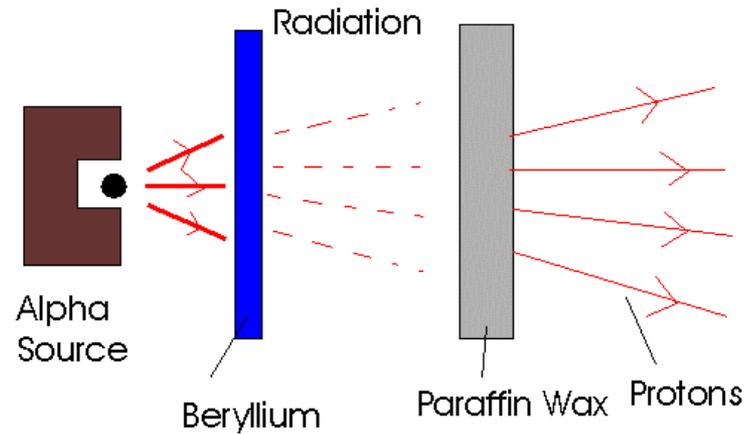
Alpha + Stickstoff \rightarrow Sauerstoff + Proton



Entdeckung des Neutrons (1932)



James Chadwick
(1891 – 1974)



Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

4.1 Rutherfords Streuexperimente

4.2 Die Entdeckung des Neutrons

4.3 Das Tröpfchenmodell

4.4 Kernreaktionen, Kernspaltung

4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner

4.6 Der Wettlauf um die Atombombe

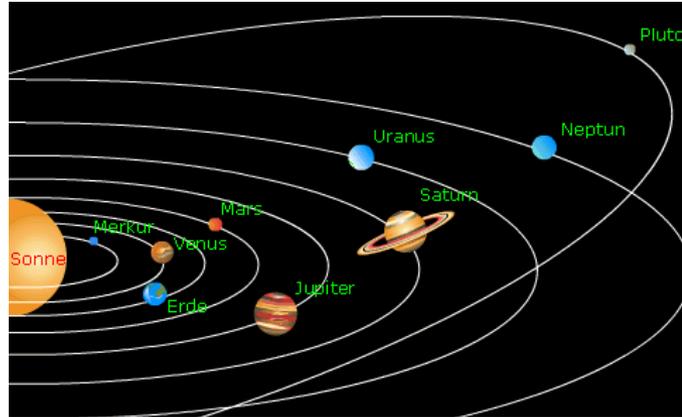
4.7 Biographie: Enrico Fermi

4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns

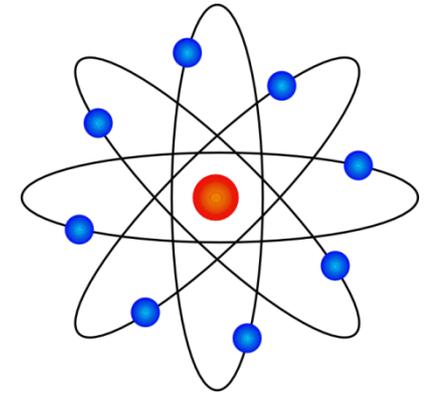
2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

Strukturen zusammengesetzter Systeme

Systeme mit
langreichweitigen Kräften



Planetensystem (Schwerkraft)

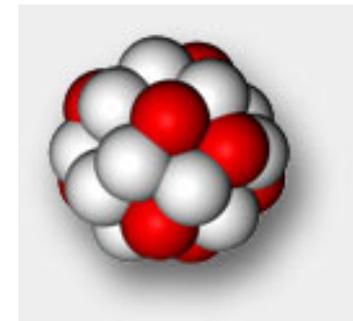


Atom
(Elektrische Kraft zwischen
Elektronen und Kern)

Systeme mit
kurzreichweitigen Kräften

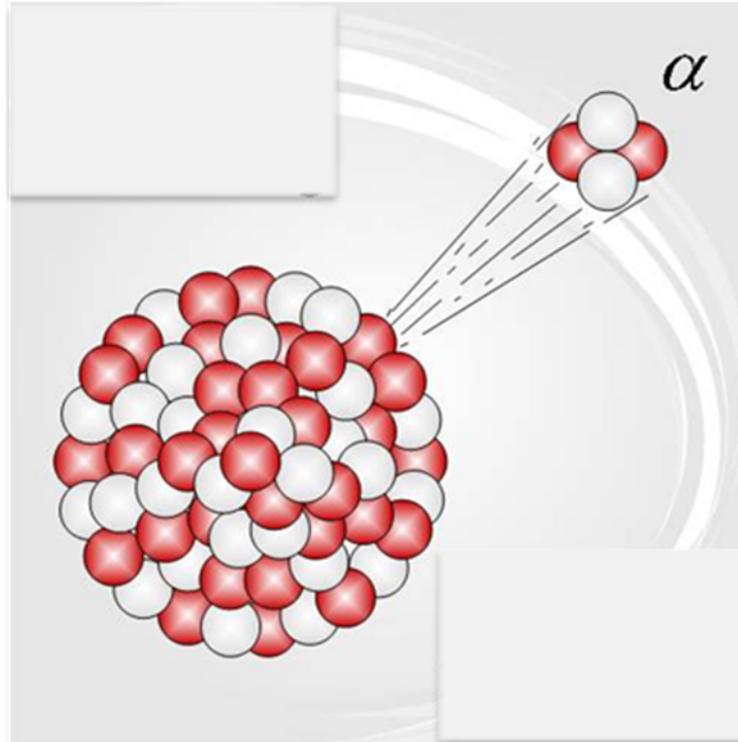


Wassertropfen
(Elektrische Kräfte zwischen Molekülen)



Atomkern
(Starke Kräfte zwischen Nukleonen)

Alpha-Zerfall im Tröpfchenmodell

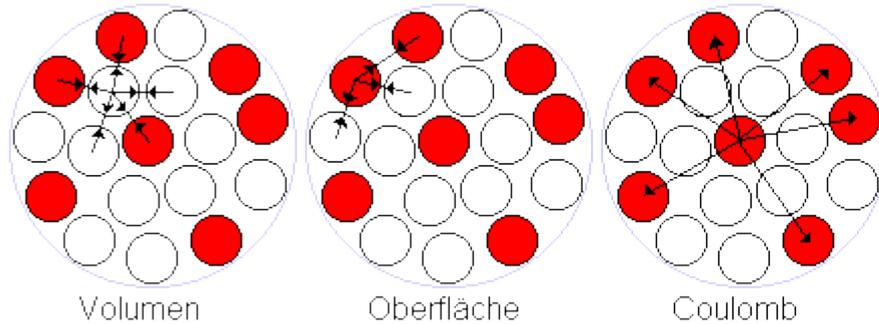


A Anzahl der Nukleonen,
Z Anzahl der Protonen

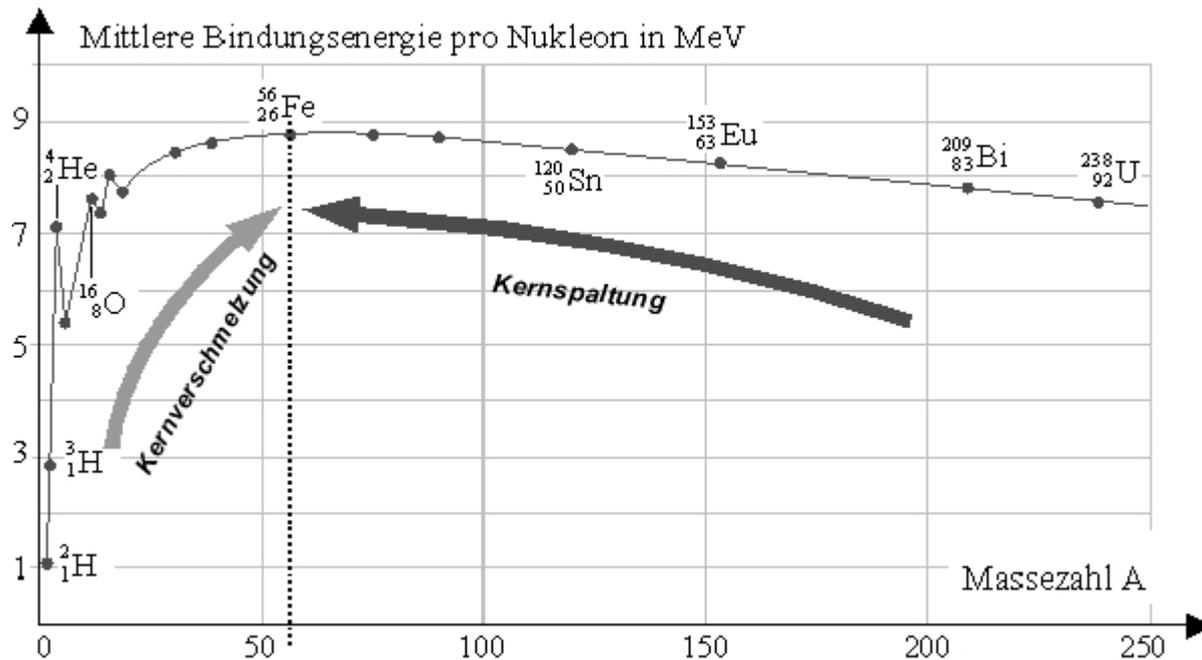
$$R = r_0 A^{1/3} \text{ mit } r_0 \approx 1 \text{ fm}$$

Tröpfchenmodell: A. Gamow, C.F. von Weizsäcker, N. Bohr um 1935
„Kernkräfte“ durch Pi-Mesonaustausch: Yukawa

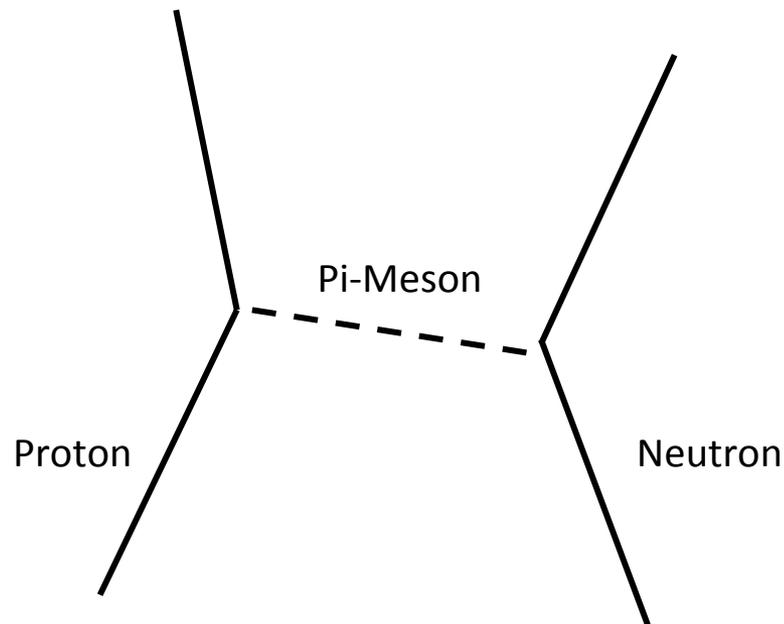
1935 :Bethe-Weizsäcker Formel für die Bindungsenergien von Kernen basierend auf dem Tröpfchenmodell



$$E_{\text{Bindung}} = a_V \cdot A - a_O \cdot A^{\frac{2}{3}} - a_C \cdot Z \cdot (Z-1) \cdot A^{-\frac{1}{3}} -$$



Im Jahre 1935 schlägt der Japaner Hideki Yukawa (1907-1981) einen Mechanismus vor, wie die starken Kernkräfte zustande kommen könnten: Durch den Austausch von Pi-Mesonen

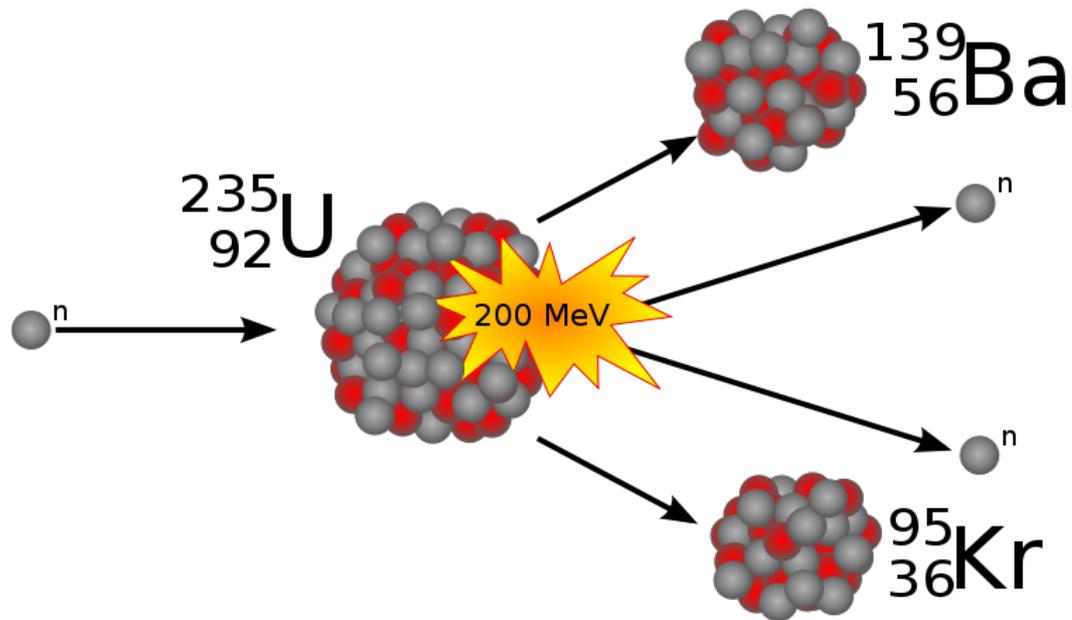


Da die Reichweite r_0 dieser Kraft mit der Masse des ausgetauschten Mesons m_π zusammenhängt $r_0 \approx 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m} \approx 1/m_\pi$, folgt die Voraussage eines neuen Teilchens mit der Masse $1/7$ der Protonenmasse. Nachdem dieses gefunden wurde, erhielt Yukawa 1949 den Nobelpreis

Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

- 4.1 Rutherfords Streuexperimente
- 4.2 Die Entdeckung des Neutrons
- 4.3 Die Nuklidkarte und Tröpfchenmodell
- 4.4 **Kernspaltung**
- 4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner
- 4.6 Der Wettlauf um die Atombombe
- 4.7 Biographie: Enrico Fermi
- 4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns
- 2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

Kernspaltung



Historische Daten zur Kernspaltung

1938: Joliot-Curie und Savic bestrahlen Uran ($Z = 92$) mit Neutronen und beobachten, dass dabei radioaktive Nuklide entstehen, wobei ihre chemische Analyse Lanthan ($Z = 57$) ergibt. Sie vermuten aber eine Verwechslung mit dem chemisch ähnlichen Element Actinium ($Z = 89$)

Dez. 1938: Hahn und Straßmann wiederholen die Experimente und identifizieren Barium ($Z = 56$) unter den Endprodukten

Januar 1939: Lise Meitner und Otto Frisch erklären die merkwürdigen Ergebnisse von Hahn und Straßmann durch eine Spaltung des Urankerns und berechnen die dabei freiwerdende Energie.

Etwa im März 1939 erkennen mehrere Physiker die Nutzung der Kernspaltung zum Bau einer Superbombe

Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

4.1 Rutherfords Streuexperimente

4.2 Die Entdeckung des Neutrons

4.3 Die Nuklidkarte und Tröpfchenmodell

4.4 Kernreaktionen, Kernspaltung

4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner

4.6 Der Wettlauf um die Atombombe

4.7 Biographie: Enrico Fermi

4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns

2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

Otto Hahn (1879 - 1968)



1879 In Frankfurt am Main geboren

1897 Studium der Chemie an der Uni Gießen, Abschluss mit Promotion

1905 Arbeit bei Ernest Rutherford in Kanada

1907 Beginn der Zusammenarbeit mit Lise Meitner in Berlin

1910 Hahn wird Professor

1912 Eröffnung des KWI für Chemie in Berlin, Hahn Leiter der Abteilung für Radioaktivität

1929 Direktor des KWI für Chemie

1934 Nach dem Ausschluss von Lise Meitner Austritt aus der Universität Berlin

1938 Entdeckung der Kernspaltung

1945 Internierung in England

1946 Rückkehr nach Göttingen, Präsident der KWI, Nobelpreis für Chemie

1948 Präsident der Max-Planck-Gesellschaft

1957 Göttinger Erklärung gegen die Atombewaffnung der Bundesrepublik

1968 Tod durch Herzversagen

Lise Meitner (1878 – 1968)



- 1878 Geboren in Wien
- 1901 Externe Reifeprüfung nach privater Vorbereitung
danach Studium der Physik, Mathematik und
Philosophie an der Universität Wien
- 1906 Promotion in Physik, als 2. Frau an der Uni Wien
- 1907 Wechsel nach Berlin zur weiteren wissenschaftli-chen
Ausbildung, Zusammentreffen mit Otto Hahn
- 1912 (Inoffizielle) Assistentin bei Max Planck, ein Jahr später
wiss. Mitglied am KWI
- 1914 Während des Krieges Röntgenschwester an der Front
- 1918 Eigene radiophysikalische Abteilung am KWI
- 1922 Habilitation, anschließend Dozentin
- 1926 a.o. Professorin für experimentelle Kernphysik
- 1933 Entziehung der Lehrbefugnis
- 1938 Emigration über Holland nach Schweden, von dort
erste physikalische Deutung der Kernspaltung

Otto Hahn und Lise Meitner



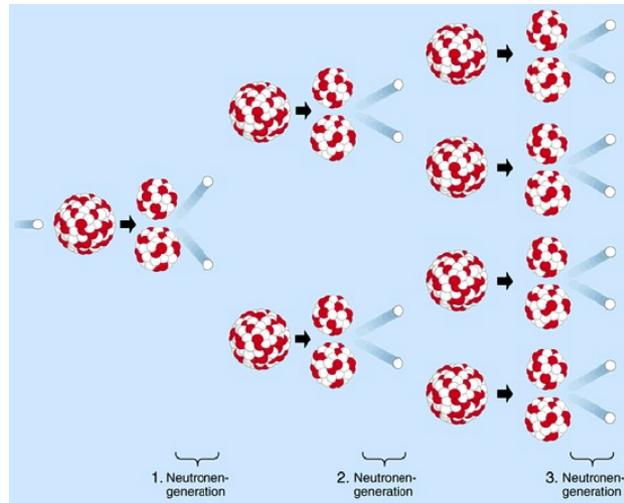
Otto Hahn und Lise Meitner bei der Einweihung des Hahn-Meitner-Instituts im Jahre 1959



Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

- 4.1 Rutherfords Streuexperimente
- 4.2 Die Entdeckung des Neutrons
- 4.3 Die Nuklidkarte und Tröpfchenmodell
- 4.4 Kernreaktionen, Kernspaltung
- 4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner
- 4.6 Der Wettlauf um die Atombombe
- 4.7 Biographie: Enrico Fermi
- 4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns
- 2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

Prinzip der Kettenreaktion



Historische Übersicht über den Wettlauf zur Atombombe (nur Deutschland und die USA, nicht England und Sowjetunion)

	1938	
Entdeckung der Kernspaltung durch Hahn und Strassmann	Sept. Dez.	Münchener Abkommen
	1939	
Theoretische Erklärung der Kernspaltung durch Frisch und Meitner	Jan.	
Diskussion zwischen Oppenheimer und Szilard über die Möglichkeit einer Atom-bombe	Feb.	
Hartek und Groth weisen das Heereswaffenamt auf die militärische Nutzung der Kernspaltung hin, Beginn des deutschen „Uranprojekts“	April	
	Sept. Okt.	Beginn des 2. Weltkrieges
Brief Einsteins an Roosevelt über die Gefahr einer deutschen Atombombe		
Langsamer Beginn der Forschung für eine Bombe in den USA		
	1941	
	Dez.	Überfall auf Pearl Harbour
	1942	
Deutsch. Uranprojekt wird der zivilen Kontrolle unterstellt – Reaktorentwickl.	Frühj.	
Fermi und Szilard testen erfolgreich den ersten Kernreaktor in Chicago	Dez.	
	1943	
	Feb.	Deutsche Niederlage bei Stalingrad
Beginn der Arbeiten in Los Alamos	März	
	1945	
Deutsch. Reaktor noch unfertig	Mai	Kapitulation Deutschlands
Erfolgreicher Test der Atombombe	Juli	
Abwurf von Bomben über Hiroshima und Nagasaki	Aug.	Kapitulation Japans

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Hassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs.



-2-

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia, while the most important source of uranium is Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an unofficial capacity. His task might comprise the following:

a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States;

b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

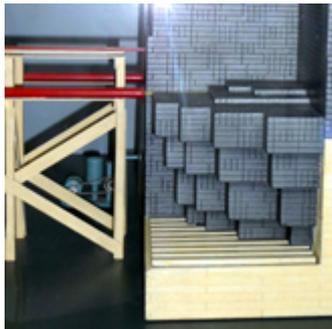
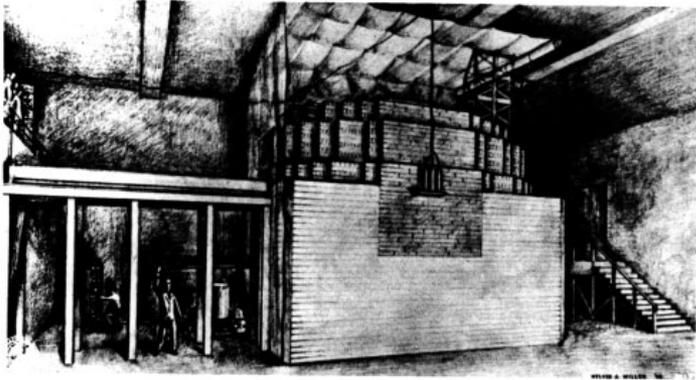
I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,

A. Einstein
(Albert Einstein)

Einstein und Szilard beim Verfassen
des Briefes (nachgestelltes Foto)

Fermis Kernreaktor



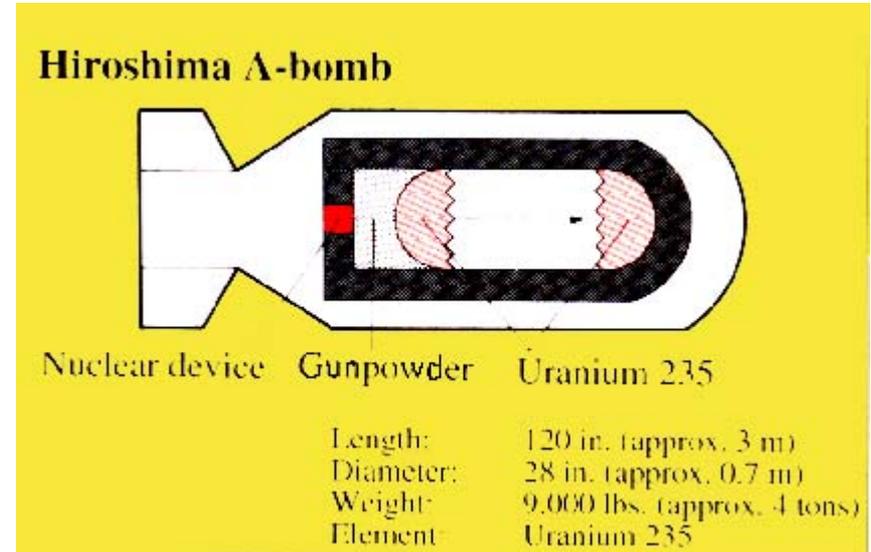
Im Dezember 1942 kam es in Chicago, unter Leitung des italienischen Kernphysikers Enrico Fermi, zur ersten kontrollierten Kettenreaktion. Der tonnenschwere erste Kernreaktor namens Chicago Pile 1 war unter dem stillgelegten Sportstadion der Universität aufgebaut worden. Man erkennt sehr schön die aufgeschichteten Würfel aus natürlichem Uranmetall und Graphit. Auch die Cadmiumstäbe zur Regelung der Kettenreaktion sind auf der Schiebevorrichtung gut zu sehen.

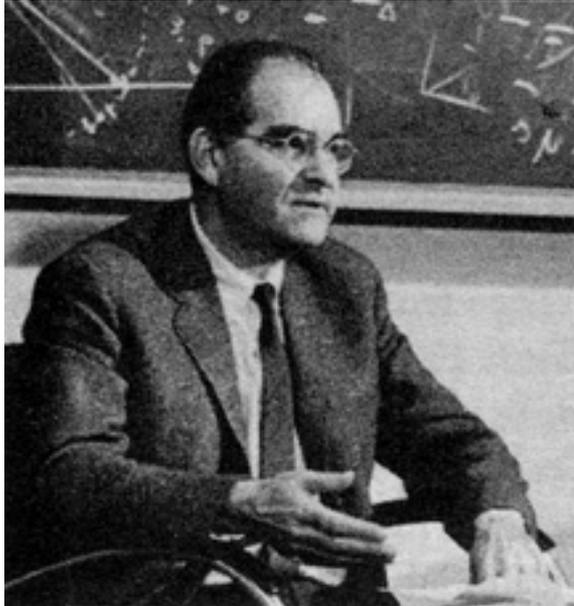
Auf der Plattform über dem Reaktor standen beim Experiment drei Männer, das so genannte Himmelfahrtskommando: Falls der Reaktor durchzugehen drohte, mussten sie eine Cadmiumsalzlösung über den Reaktor gießen. Ein weiterer Arbeiter sollte im Notfall mit einer Axt ein Seil kappen, an dem ein großer Cadmiumstab hing. Dieser sollte bei einem drohenden Desaster in den Reaktor fallen um eine unkontrollierte Kettenreaktion zu unterbinden.

(Ca. 350 t Graphit zum Moderieren, ca. 40t Uranoxyd und ca. 5t Uranmetall (Unangereichertes Uran, d.h. 0.7% ^{235}U)

Kritische Massen für den Bau von Spaltbomben

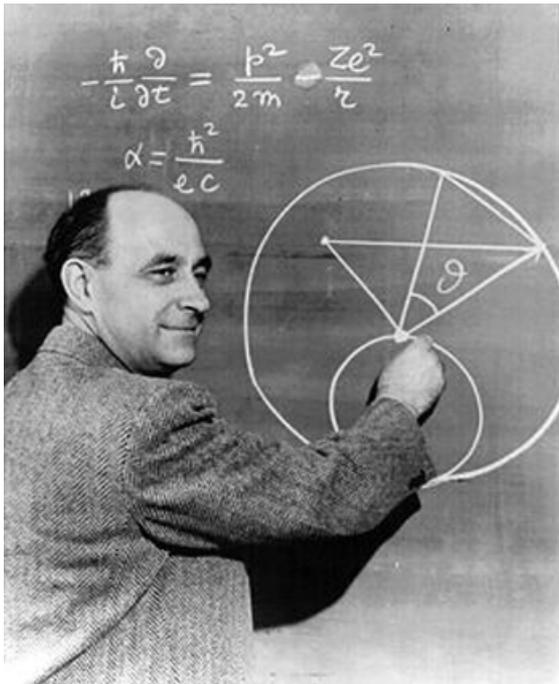
Isotop	Kritische Masse			Radien
	Unreflektiert	reflektiert (20 cm H ₂ O)	reflektiert (30 cm Stahl)	
Thorium-229	2839 kg	2262 kg	994 kg	
Protactinium-231	580–930 kg ?	?	?	
Uran-233	16,5 kg	7,3 kg	6,1 kg	
Uran-234	145 kg	134 kg	83 kg	
Uran-235	49,0 kg	22,8 kg	17,2 kg	6 cm
Neptunium-235	66,2 kg	60 kg	38,8 kg	
Neptunium-236	6,79 kg	3,21 kg	3,3 kg	
Neptunium-237	63,6–68,6 kg	57,5–64,6 kg	38,6 kg	
Plutonium-236	ca. 8,04–8,42 kg	5,0 kg	3,74–4,01 kg	
Plutonium-237	ca. 3,1 kg	1,71 kg	1,62 kg	
Plutonium-238	ca. 9,04–10,31 kg	7,35 kg	4,7 kg	
Plutonium-239	10,0 kg	5,42–5,45 kg	4,49 kg	4cm





Viktor Weisskopf, geb. 1908 in Wien, gest. 2002 in Cambridge, Mass. USA, Theor. Physiker, u.a. Mitarbeiter am Manhattan Project und Generaldirektor vom CERN

Enrico Fermi (1901 – 1954)

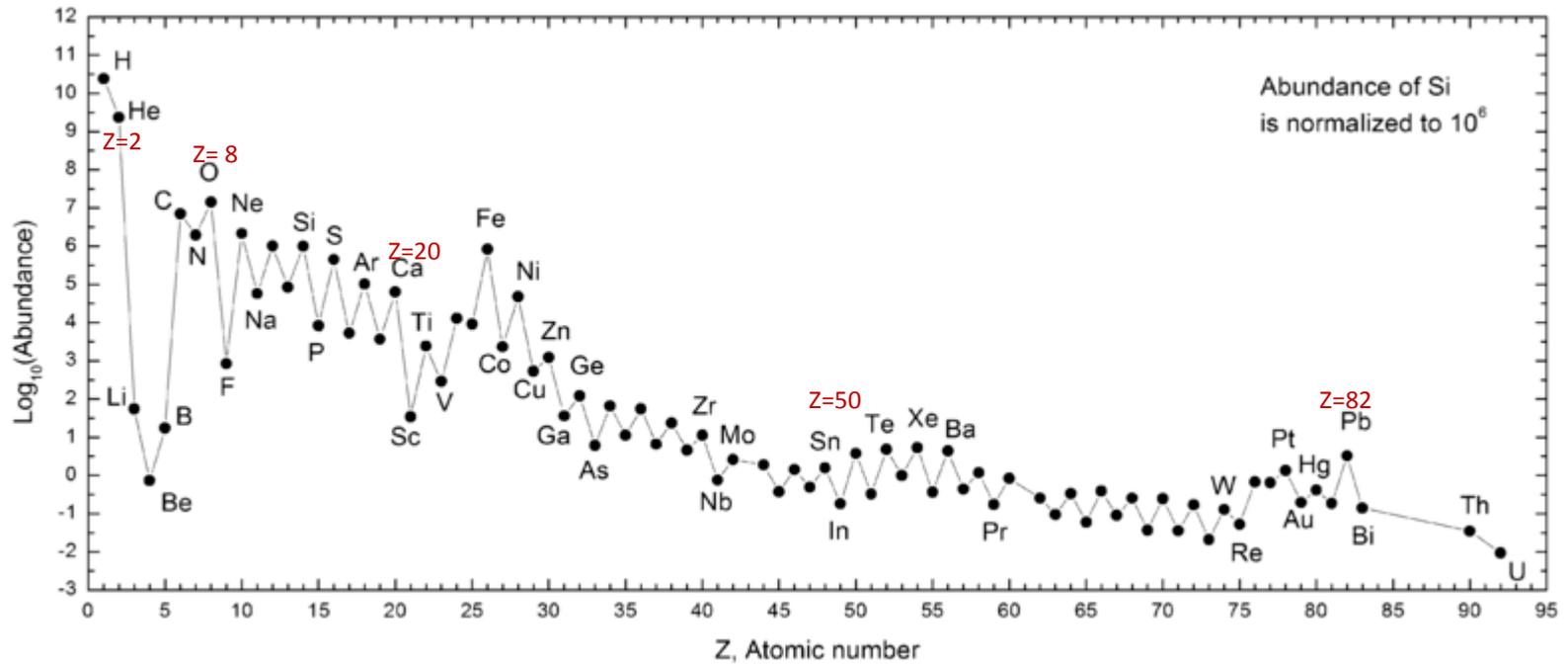


- 1901 Geboren in Rom
Studium an der Scuola Normale Superiore in Pisa
Promotion mit 21 Jahren
- 1926 Professor für Theoretische Physik an der Universität Rom
Theorie der Schwachen Wechselwirkung (β -Zerfall)
Experimente zum Neutroneneinfang , Paraffineffekt
- 1938 Nobelpreis für Physik, Emigration in die USA
Professor an der Columbia University
- 1942 Erster kritischer Kernreaktor in Chicago
Mitarbeit beim Manhattan-Projekt
- 1945 Professor in Chicago, Stellung am neu gegründeten
Institute for Nuclear Studies
- 1954 an Magenkrebs gestorben

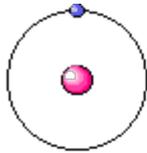
Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

- 4.1 Rutherfords Streuexperimente
- 4.2 Die Entdeckung des Neutrons
- 4.3 Die Nuklidkarte und Tröpfchenmodell
- 4.4 Kernreaktionen, Kernspaltung
- 4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner
- 4.6 Der Wettlauf um die Atombombe
- 4.7 Biographie: Enrico Fermi
- 4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns**
- 2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

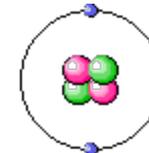
Häufigkeiten der Elemente und Hinweis auf magische Zahlen (rot)



Schalenstruktur der Elektronen in der Atomhülle



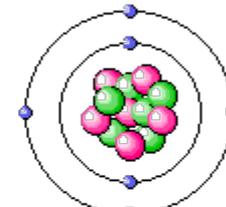
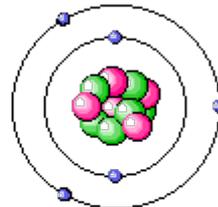
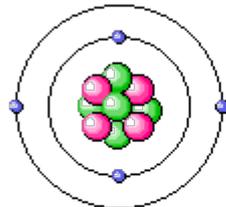
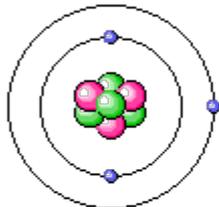
	Proton ${}^1_1\text{p}$ (1 pos. Ladung - Masse 1)
	Neutron ${}^1_0\text{n}$ (neutral - Masse 1)
	Elektron ${}^0_{-1}\text{e}$ (1 neg. Ladung - Masse 0)



Abgeschlossene
1s Schale

${}^1_1\text{H}$	Wasserstoff	1 ×	1 ×
------------------	-------------	-----	-----

${}^4_2\text{He}$	Helium	2 ×	2 ×
		2 ×	

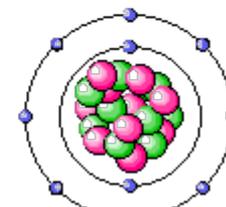
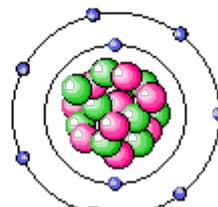
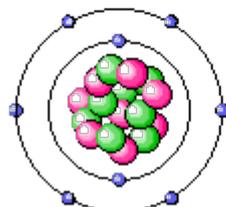
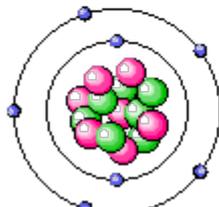


${}^7_3\text{Li}$	Lithium	3 ×	3 ×
		4 ×	

${}^9_4\text{Be}$	Beryllium	4 ×	4 ×
		5 ×	

${}^{11}_5\text{B}$	Bor	5 ×	5 ×
		6 ×	

${}^{12}_6\text{C}$	Kohlenstoff	6 ×	6 ×
		6 ×	



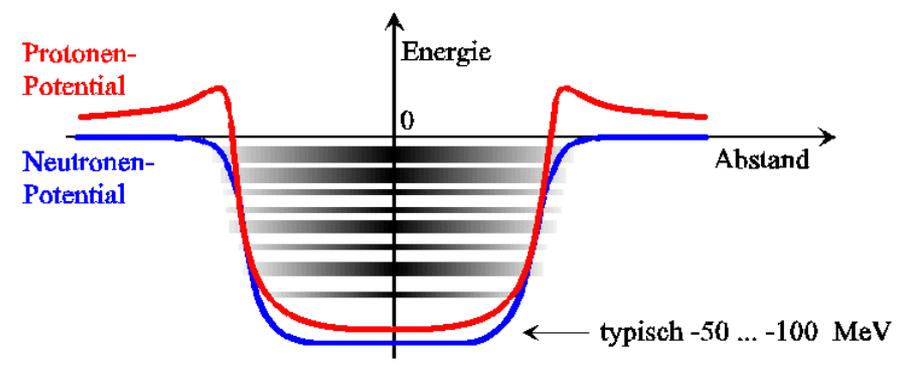
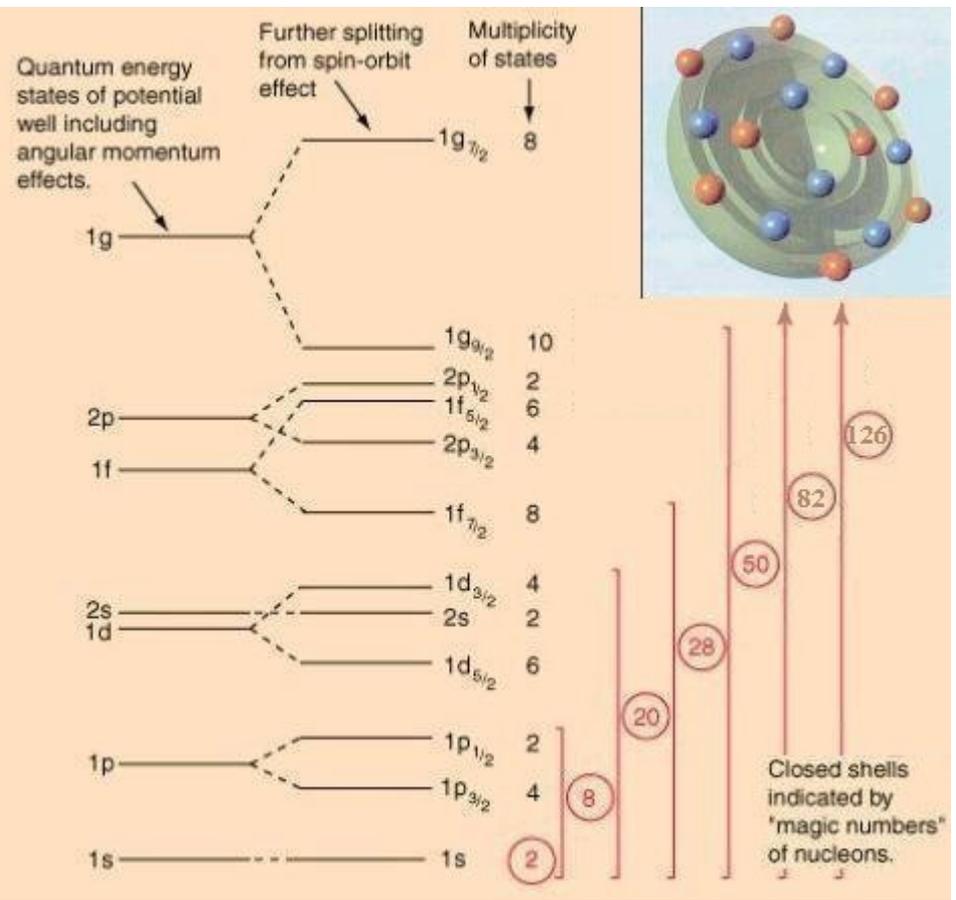
Abgeschlossene
2p Schale

${}^{14}_7\text{N}$	Stickstoff	7 ×	7 ×
		7 ×	

${}^{16}_8\text{O}$	Sauerstoff	8 ×	8 ×
		8 ×	

${}^{19}_9\text{F}$	Fluor	9 ×	9 ×
		10 ×	

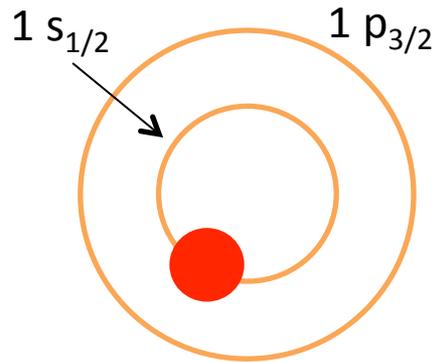
${}^{20}_{10}\text{Ne}$	Neon	10 ×	10 ×
		10 ×	



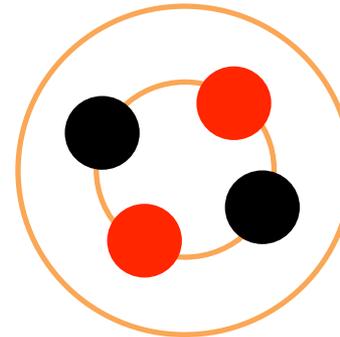
Effektives Schalenmodell Potential, in dem sich die Nukleonen unabhängig bewegen.

Einteilchenzustände in dem Schalenmodell Potential
 Wichtig ist die Spin-Bahnkopplung, die z.B. zu einer Aufspaltung der $1p_{1/2}$ und $1p_{3/2}$ Zustände führen

Schalenmodell des Atomkerns

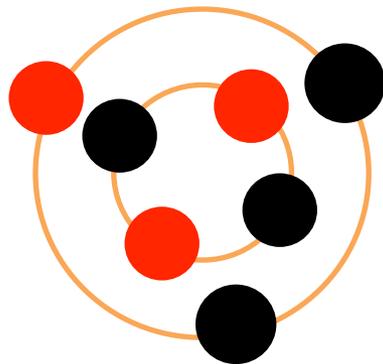


Wasserstoff ^1H

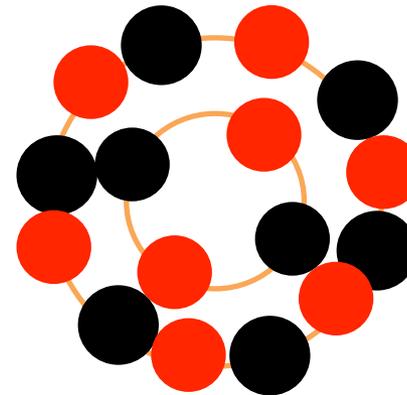


Abgeschlossene 1s
Schale $Z=2$

Helium ^4He



Lithium ^7Li



Abgeschlossene 2p
Schale $Z=8$

Sauerstoff ^{16}O

Vierter Tag: Die Erforschung des Atomkerns

4.1 Rutherfords Streuexperimente

4.2 Die Entdeckung des Neutrons

4.3 Die Nuklidkarte und Tröpfchenmodell

4.4 Kernreaktionen, Kernspaltung

4.5 Doppelbiographie: Otto Hahn und Lise Meitner

4.6 Der Wettlauf um die Atombombe

4.7 Biographie: Enrico Fermi

4.8 Das Schalenmodell des Atomkerns

2.9 Doppelbiographie: Otto Haxel und Hans Jensen

Otto Haxel (1909 – 1998)



- 1909 Geboren in Neu-Ulm (Bayern)
Studium an der Technischen Hochschule in München
und der Universität Tübingen
- 1933 Promotion bei Hans Geiger in Tübingen über den
Nachweis von Protonen mit einem
Proportionalzählrohr
- 1936 Habilitation in Berlin; dort bis 1945 Dozent an der
Technischen Universität
- 1946 Wissenschaftlicher Mitarbeiter von W. Heisenberg am
KWI (MPI) in Göttingen
- 1950 Ordinarius für Physik an der Universität Heidelberg,
Leiter des 2. Phys. Instituts;
Beteiligung am Aufbau des KFZ Karlsruhe, Mitglied des
Aufsichtsrates
- 1970 Wiss. Techn. Leiter des KFZ Karlsruhe
- 1978 Präsident der Heidelberger Akademie der
Wissenschaften
- 1980 Otto Hahn Preis der Stadt Frankfurt

Hans Jensen (1907 – 1973)



- 1907 In Hamburg als Sohn eines Gärtners geboren
- 1926 Beginn des Studiums: Physik, Mathematik, phys. Chemie, Chemie, Philosophie in Hamburg und Freiburg
- 1932 Promotion an der Uni Hamburg im Fach Physik; Assistent am Institut für theoretische Physik
- 1936 Habilitation; anschließend Privatdozent in Hamburg
- 1941 Professor für theoretische Physik an der Technischen Hochschule Hannover
- 1949 Wechsel an die Universität Heidelberg, dort erster Ordinarius für theoretische Physik nach dem 2. Weltkrieg
Bahnbrechende Arbeiten zum Schalenmodell der Atomkerne
- 1963 Nobelpreis für Physik

Gastprofessor an mehreren berühmten amerikanischen Universitäten, u.a. Princeton, Berkeley, Caltec.

Otto Haxel (1909 - 1998)



J. Hans D. Jensen (1907 - 1973)



Maria Goeppert-Mayer (1906 - 1972)

Heidelberger Physiker in den 50er Jahren



Otto Haxel (Mitte) zusammen mit seinen Kollegen
Walter Bothe (links) und Hans Kopfermann (rechts)

Walther Bothe (1891 – 1957), Nobelpreis 1954 für die Entwicklung der
Koinzidenzmethode; nach seiner Emeritierung (1953) wurde Hans
Kopfermann (1895 – 1963) sein Nachfolger im I. Physikalischen Institut

Hans Jensen (1907 – 1973)

