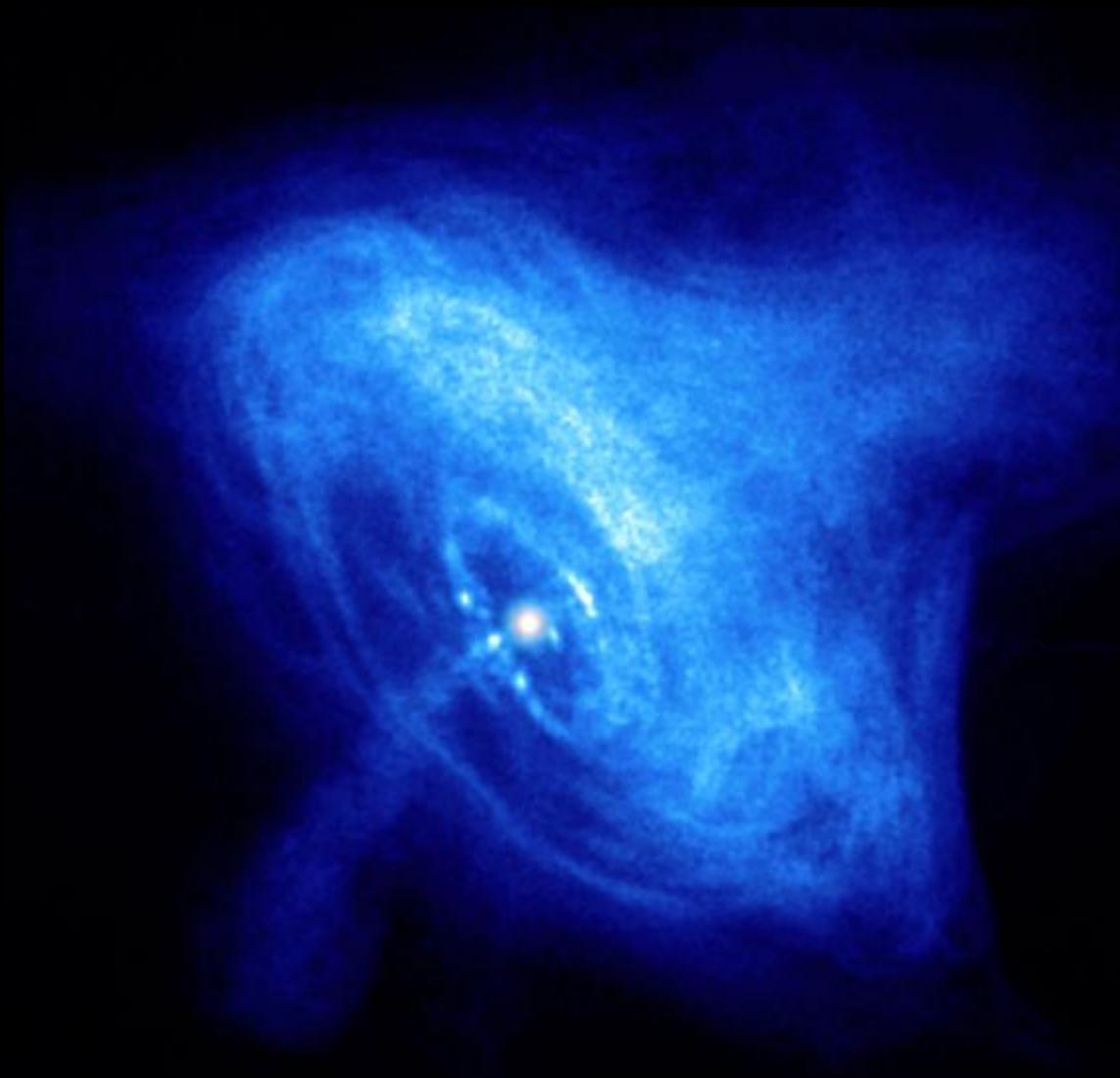
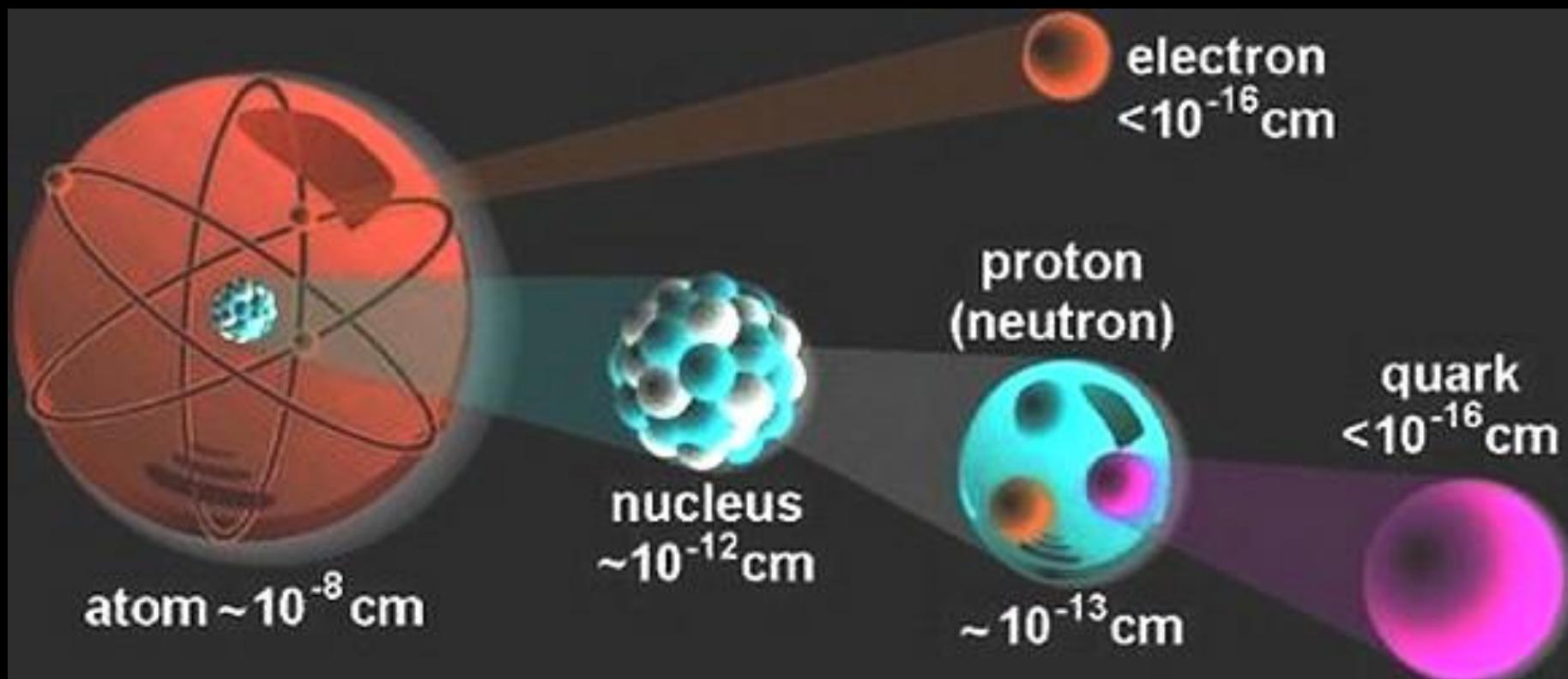


Atomkerne und Kernmaterie



Atomkerne



Kernmaterie

$$\rho = 4 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

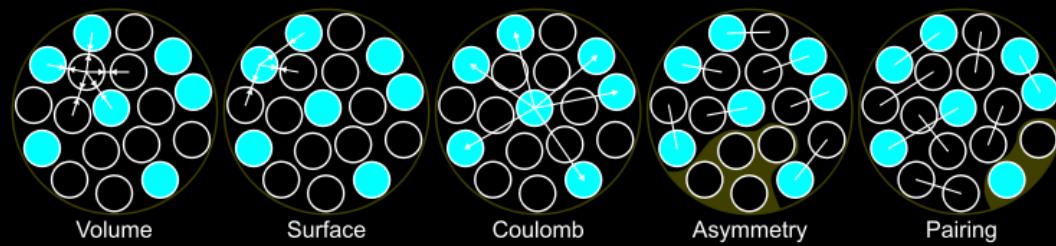
Struktur von Atomkernen

Atomkerne sind eine Agglomeration von Nukleonen (Protonen und Neutronen), die durch eine „Nebenvalenzkraft“ der starken Wechselwirkung („Kernkraft“) zusammengehalten werden.

Je nach dem, welche Aspekte eines Atomkerns man erklären möchte, sind verschiedene Kernmodelle entwickelt worden.

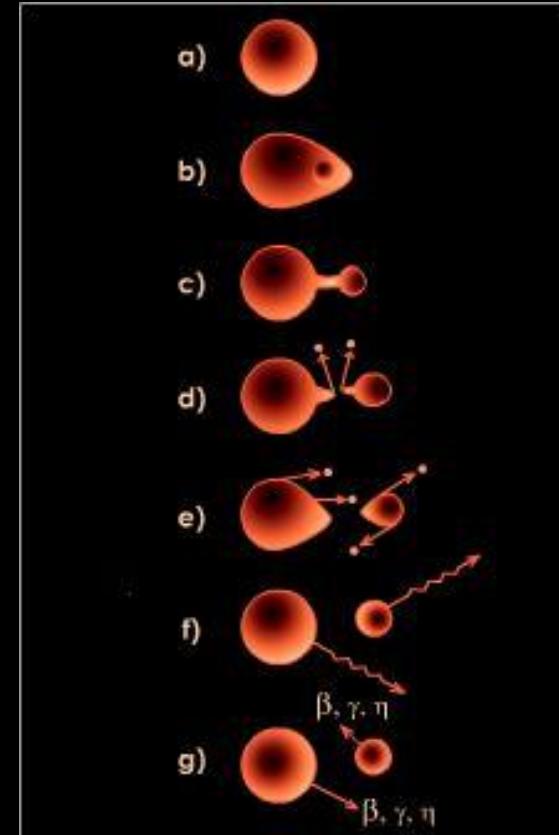
Beispiele für Kernmodelle:

Tropfenmodell



Die Energie eines Atomkerns setzt sich aus verschiedenen Anteilen zusammen: z.B. Volumenenergie, Oberflächenenergie, Coulombenergie ...

Spaltung eines U-235-Kerns im Tröpfchenmodell



Die Weizsäcker-Formel

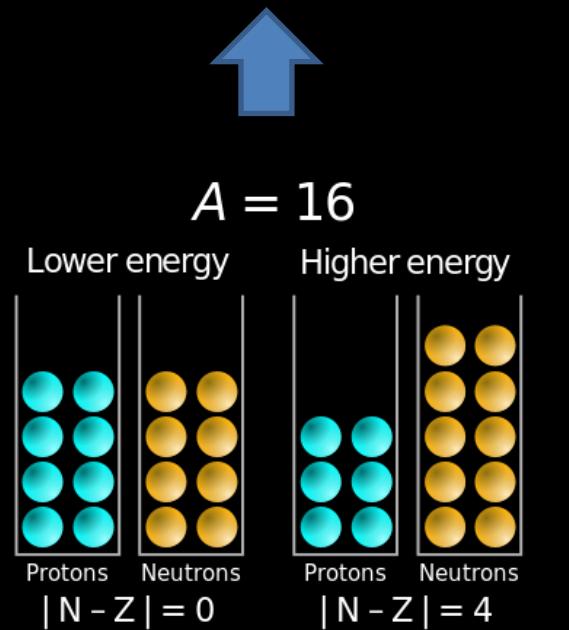
$$E_{\text{Bindung}} = E_{\text{Volumen}} - E_{\text{Oberfläche}} - E_{\text{Coulomb}} - E_{\text{Symmetrie}} \pm E_{\text{Paarung}}$$

Semiempirische Formel, welche die Bindungsenergie zwischen Z Protonen und N Neutronen in einem Atomkern beschreibt. (von Weizsäcker, 1935)

Bindungsenergie = negative potentielle Energie

Größenordnung MeV (Atomhülle keV)

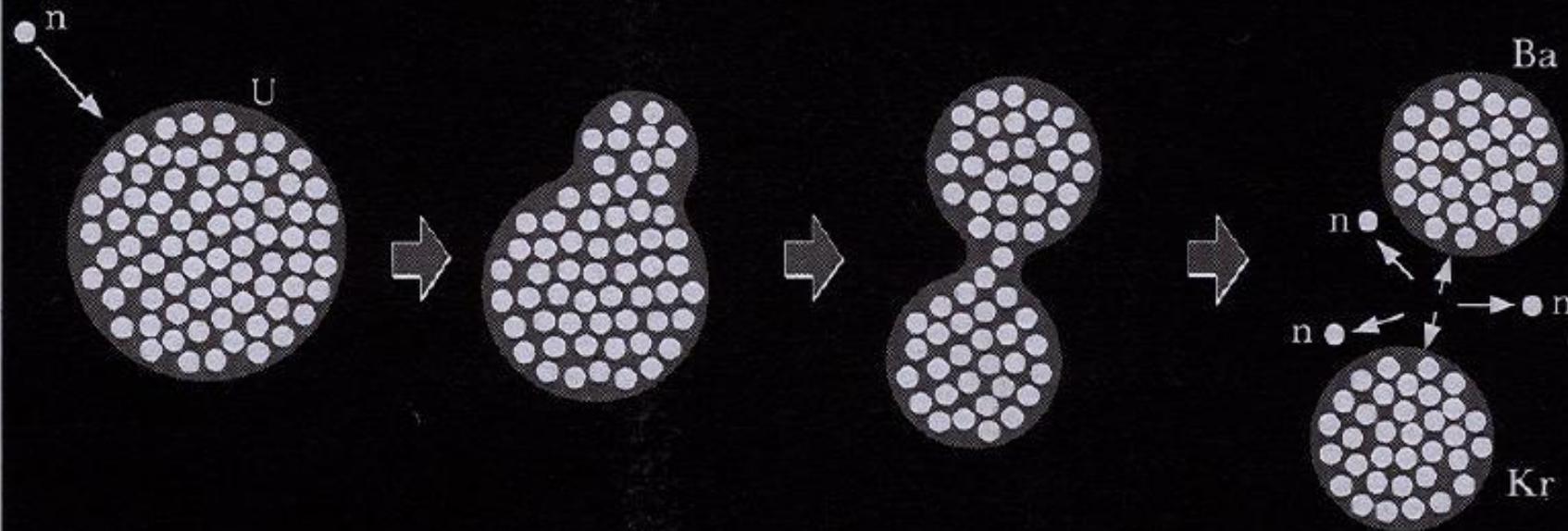
- langreichweitige Coulombkräfte (Abstoßung der Protonen)
- kurzreichweitige Kernkräfte (Anziehung der Nukleonen)



Pauliprinzip + Fermienergie

Kernspaltung (Fission) im Tropfenmodell des Atomkerns

Disintegration of uranium by a slow neutron



slow neutron hits
uranium 235 nucleus
and is absorbed

nucleus now unstable;
starts to wobble like
perturbed drop of
water

point of no return;
nucleus has
developed a waist

nucleus splits in smaller,
stable nuclei of barium
and krypton, releasing
energy, and two or
three more neutrons

Schalenmodell

Analogon zum Schalenmodell der Atomhülle, aber anderes Potential (kein Zentralkraftfeld)

Empirische Hinweis auf die Schalenstruktur von Atomkernen

Magische Zahlen: 2 8 20 28 50 82 126

- Kerne mit magischer Protonenzahl Z oder Neutronenzahl N sind besonders stabil
- Doppel-magische Kerne sind besonders stabil (Z und N magisch)



- In der Umgebung „magischer Kerne“ gibt es besonders viele Isotope / Isotone



Es gibt 6 Kerne mit N=50 und 7 Kerne mit N=82
Es gibt 10 „natürliche“ Isotope von Zinn (Z=50)

Hypothese:

Jedes Nukleon bewegt sich in einem mittleren Potentialfeld, welches durch die Wechselwirkung mit allen anderen Nukleonen A-1 erzeugt wird

Warum Schalenmodell?

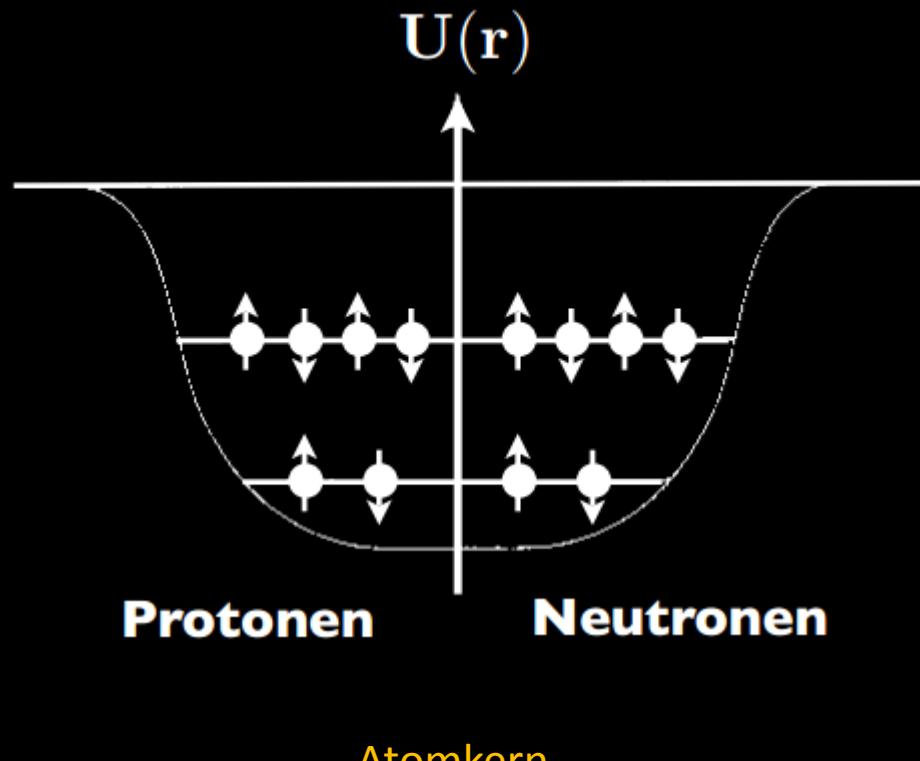
Ähnliches Phänomen ist aus der Physik der Elektronen in der Atomhülle bekannt:
Edelgase mit abgeschlossener Valenzschale haben eine sehr große Ionisationsenergien.
Alkalimetalle, welche in der Atomhülle nur ein Elektron zuviel besitzen, haben sehr kleine
Ionisationsenergien.

In Analogie zur Atomphysik kann man vermuten, magische Zahlen entsprächen
Schalenabschlüssen im Kern.

Wie überträgt man diese Vorstellung auf Kerne?

- Die Nukleonen bewegen sich als freie Spin $\frac{1}{2}$ Teilchen in einem mittleren (sphärischen) Kernpotential. Dieses Potential stellt den gemittelten Effekt der Wechselwirkungen mit allen anderen Nukleonen im Kern darstellt.
- Das mittlere Kernpotential $V(r)$ wird selbstkonsistent durch die Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung erzeugt, die nur von einer relativ kurzen Reichweite ist.
- Es liegt beim Kernpotential kein Analogon zum Coulombpotential einer zentralen Ladung wie in der Atomphysik vor!

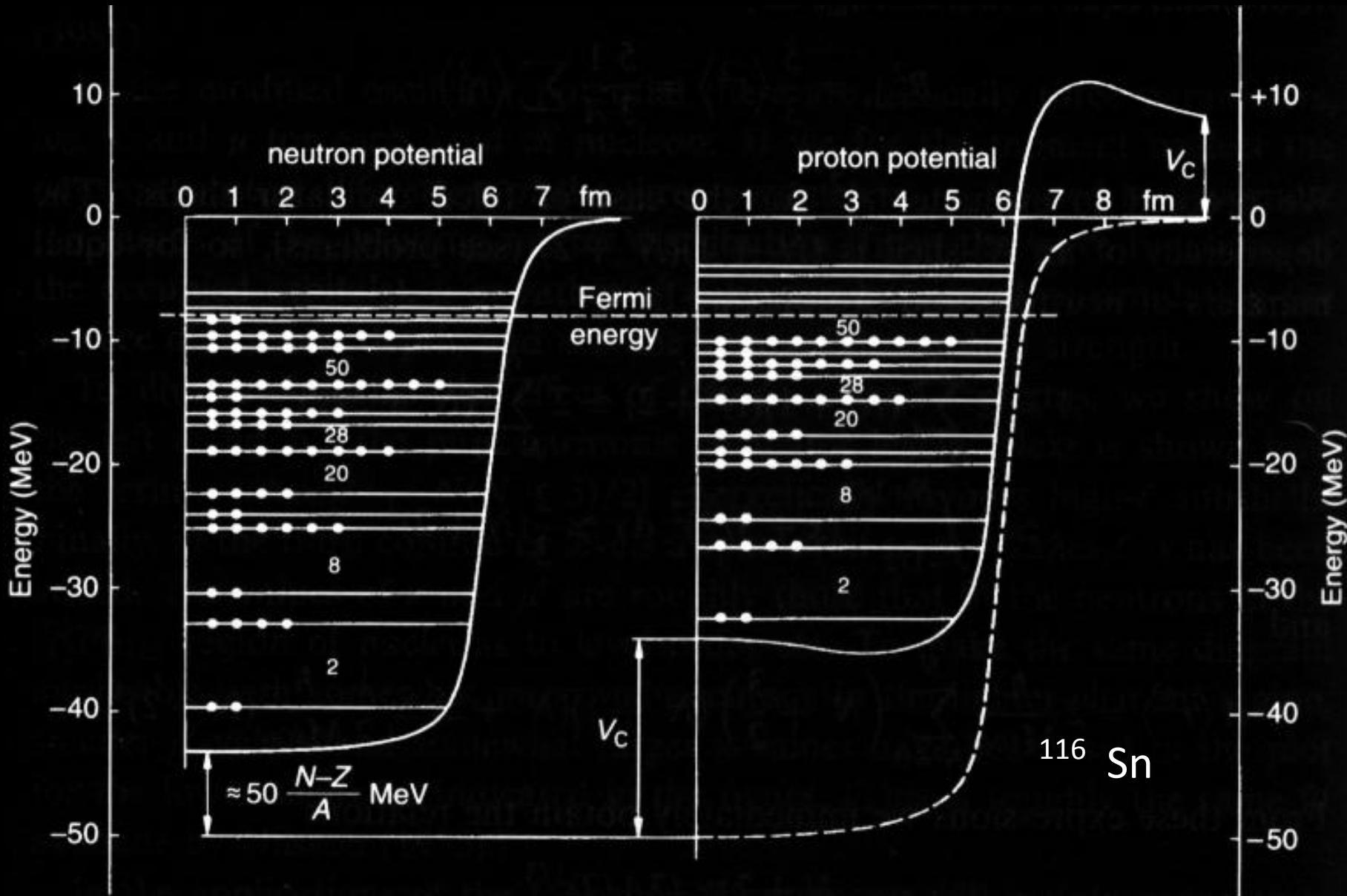
Potential mit zwei gemäß dem Pauli-Prinzip aufgefüllten Energieniveaus



Element	Elektronenkonfiguration	Kästchenschema
H	$1s^1$	
He	$1s^2$	
Li	$1s^2 2s^1$	
Be	$1s^2 2s^2$	
B	$1s^2 2s^2 2p^1$	

Pauliprinzip für Fermionen: Zwei Teilchen mit halbzahligen Spin können in einem Quantensystem niemals den gleichen Zustand einnehmen

„Realistische“ Protonen- und Neutronenzustände in einem Kern mit Z=50, N=66



Mit dem Schalenmodell in Verbindung mit einer starken Spin-Bahn-Kopplung kann man die besondere Stabilität von magischen Kernen erklären
(M. Goeppert-Mayer 1949, Nobelpreis 1963)

Emission von Gammastrahlung

Ist ein Nukleon angeregt (Kernisomer), dann kann dieser angeregte Zustand unter Emission eines Gammaquants in den nichtangeregten Zustand übergehen. Welche Übergänge zur Emission führen, bestimmen diverse Erhaltungssätze (z.B. Gesamt-drehimpuls).

Weitere Kernmodelle

Fermigas-Modell
Kollektivmodell

Was ist Kernmaterie?

Kernmaterie ist die Art von Materie, aus der Atomkerne bestehen. Komprimiert man Atome soweit, daß sich die Kerne berühren, erhält man einen Klumpen Kernmaterie -> Neutronensterne

- Besteht aus einem Protonen- und Neutronengas (Fermigas)
- Ist extrem inkompressibel (merkbare Volumenänderung erst ab einem Druck von $\sim 10^{32}$ Pa (10^{23} GPa))
- Teilchenzahldichte $\sim 10^{44}$ pro m³
- Massendichte $\sim 22 \cdot 10^{17}$ kg/m³ (10 Millionen mal höher als Blei)
- Für fast das gesamte elektromagnetische Spektrum ist Kernmaterie durchsichtig (Ausnahme Gammaquanten)
- Physikalisch handelt es sich aufgrund der schlechten Lokalisierbarkeit der Protonen und Neutronen um ein Gas mit Tendenz zur Flüssigkeit

Neutronen- und Quarksterne
Schwerionenstöße
Urknall

