

Erinnerung: Ladungsverteilung von Kernen

Ladungsdichteverteilung ist aus Elektron-Kernstreuungsexperimenten bekannt

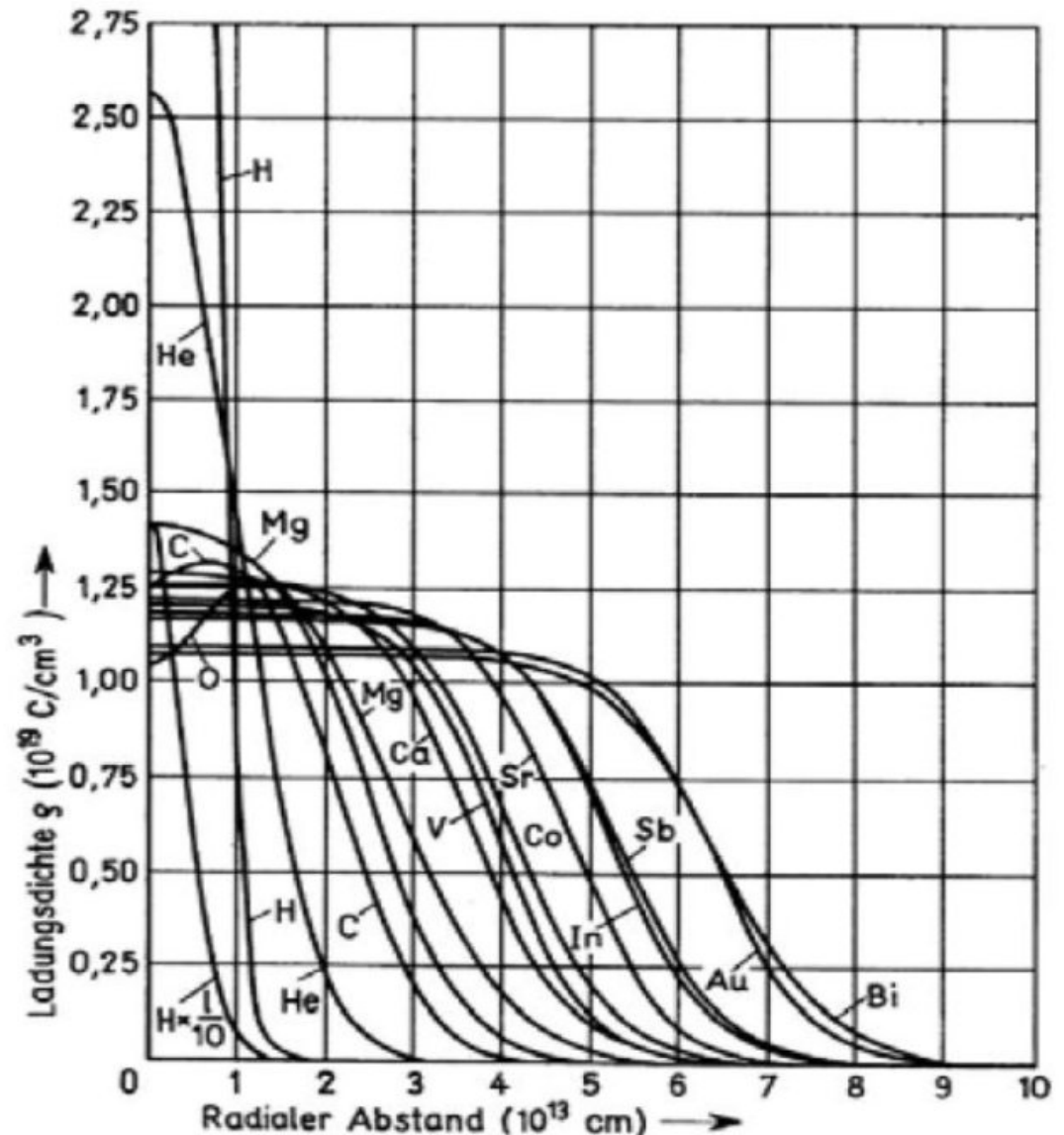
$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{exp}} / \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}} = |F(q^2)|^2$$

F: Formfaktor

q^2 : 3-er Impulsübertrag

Formfaktor ist Fourietransformierte der Ladungsverteilung

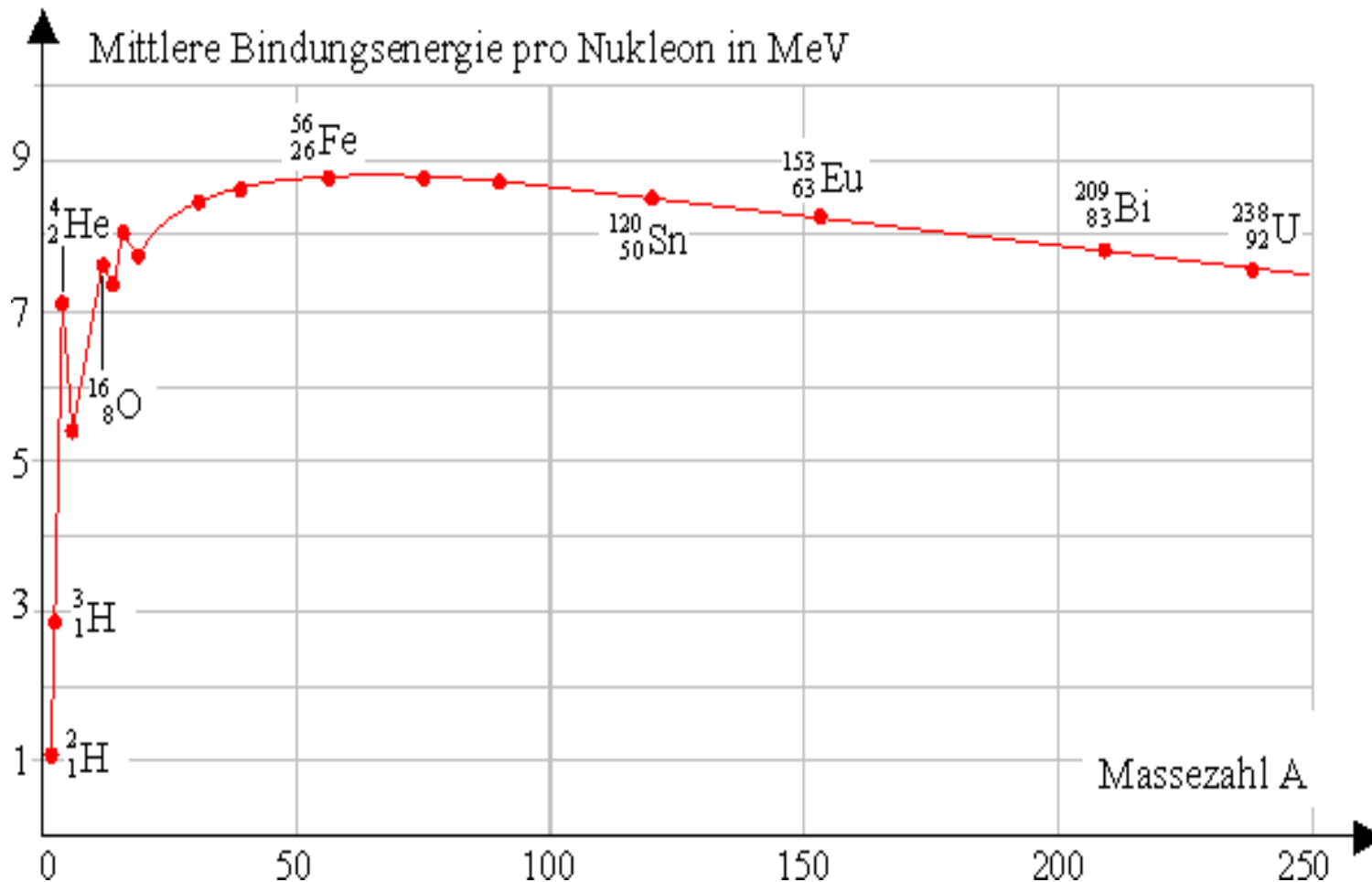
Ladungsdichte von Kernen
(insbesondere bei hohen
Atomzahlen A) gut durch Kugel
mit konstanter Dichte
mit verwaschenem Rand
beschrieben.



Bindungsenergie von Kernen

$$M(Z,A) c^2 = Z m_p c^2 + (A-Z) m_n c^2 - E_B(Z,A)$$

E_B : Kernbindungsenergie, in dieser Definition > 0



Maximum bei $A=56$: $E_B/A = 8.7$ MeV, danach sehr leichter Abfall (nahezu konstant für große)

Bethe-Weizsäcker Formel:

$$B = a_V A - a_O A^{2/3} - a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{Asym} \frac{(N - Z)^2}{A} + \frac{\delta}{A^{1/2}}$$

$$a_V \approx 15.7 \text{ MeV}$$

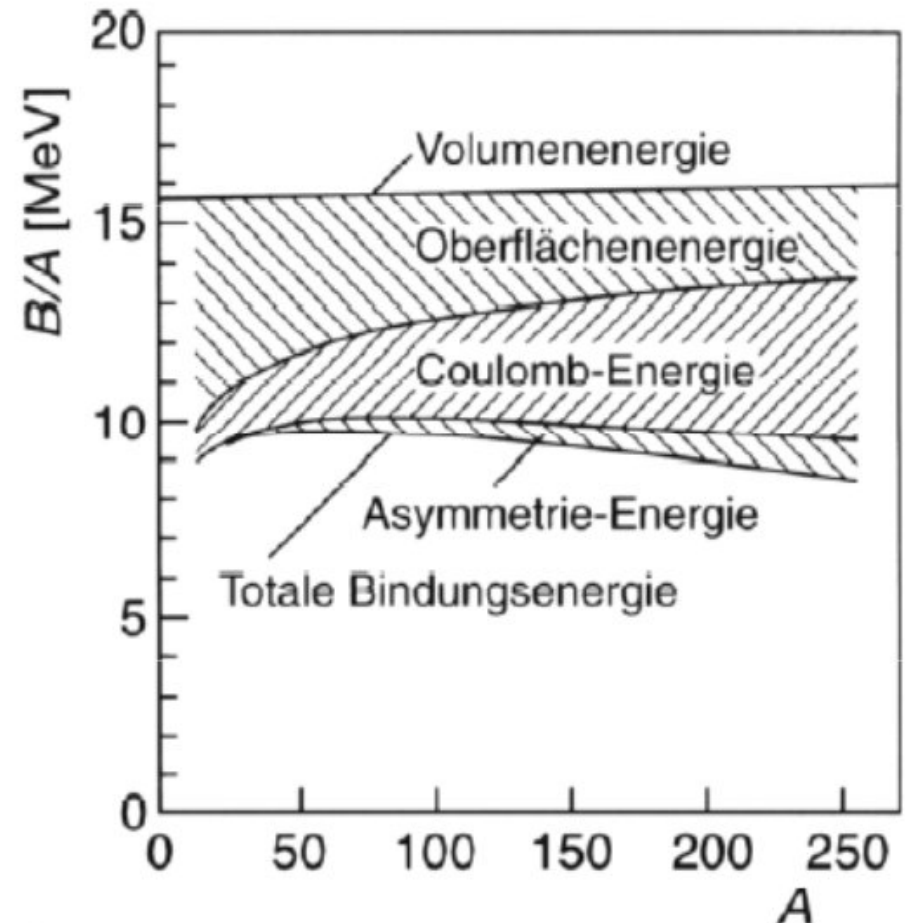
$$a_O \approx 17.2 \text{ MeV}$$

$$a_C \approx 0.7 \text{ MeV}$$

$$a_{Asym} \approx 22.5 \text{ MeV}$$

s.a.
Povh

$$\delta = \begin{cases} +11.2 \text{ MeV} & \text{gg - Kerne} \\ 0 \text{ MeV} & \text{ug - Kerne} \\ -11.2 \text{ MeV} & \text{uu - Kerne} \end{cases}$$



Erlaubt die Berechnung des Q-Wertes von radioaktiven Zerfällen / Spaltungs- und Fusions-Prozessen

beta-Zerfall

—

gg/uu Kerne:

$gg \rightarrow uu \rightarrow gg \rightarrow uu \rightarrow gg \rightarrow \dots$

aufgrund des Paarungsterms gibt es zwei Parabeln

Es gibt in der Regel zwei (gegen beta-Zerfall) stabile gg-Kerne. Je nach Steilheit der Parabeln kann es auch Stabile uu-Kerne geben.

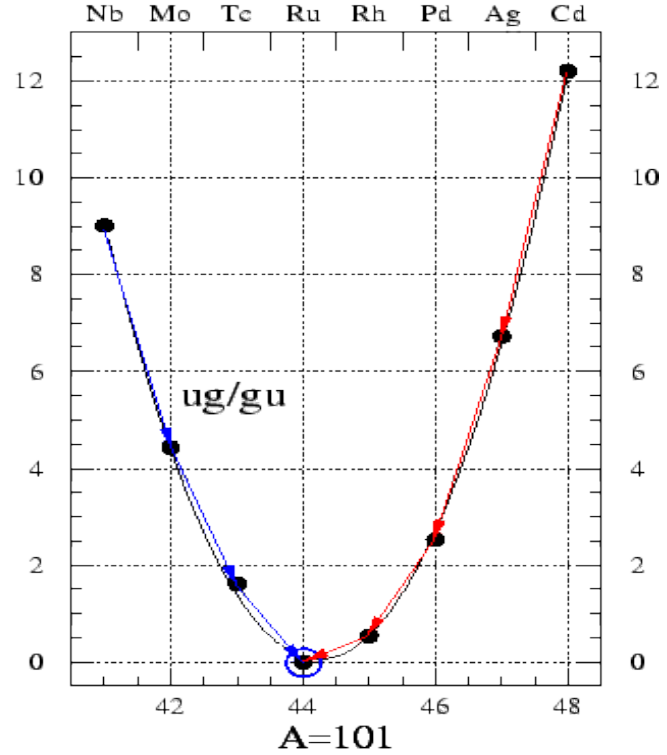
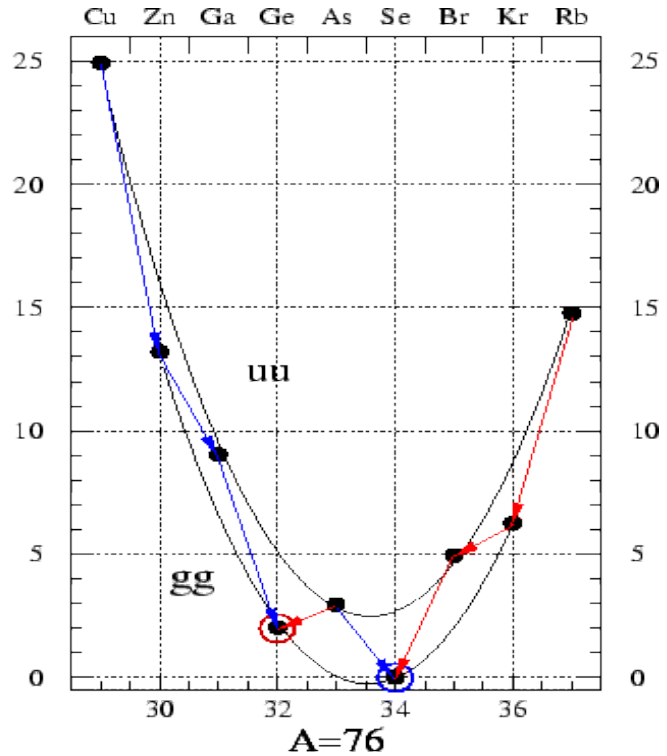
ug Kerne:

$ug \rightarrow gu \rightarrow ug \rightarrow gu \rightarrow \dots$

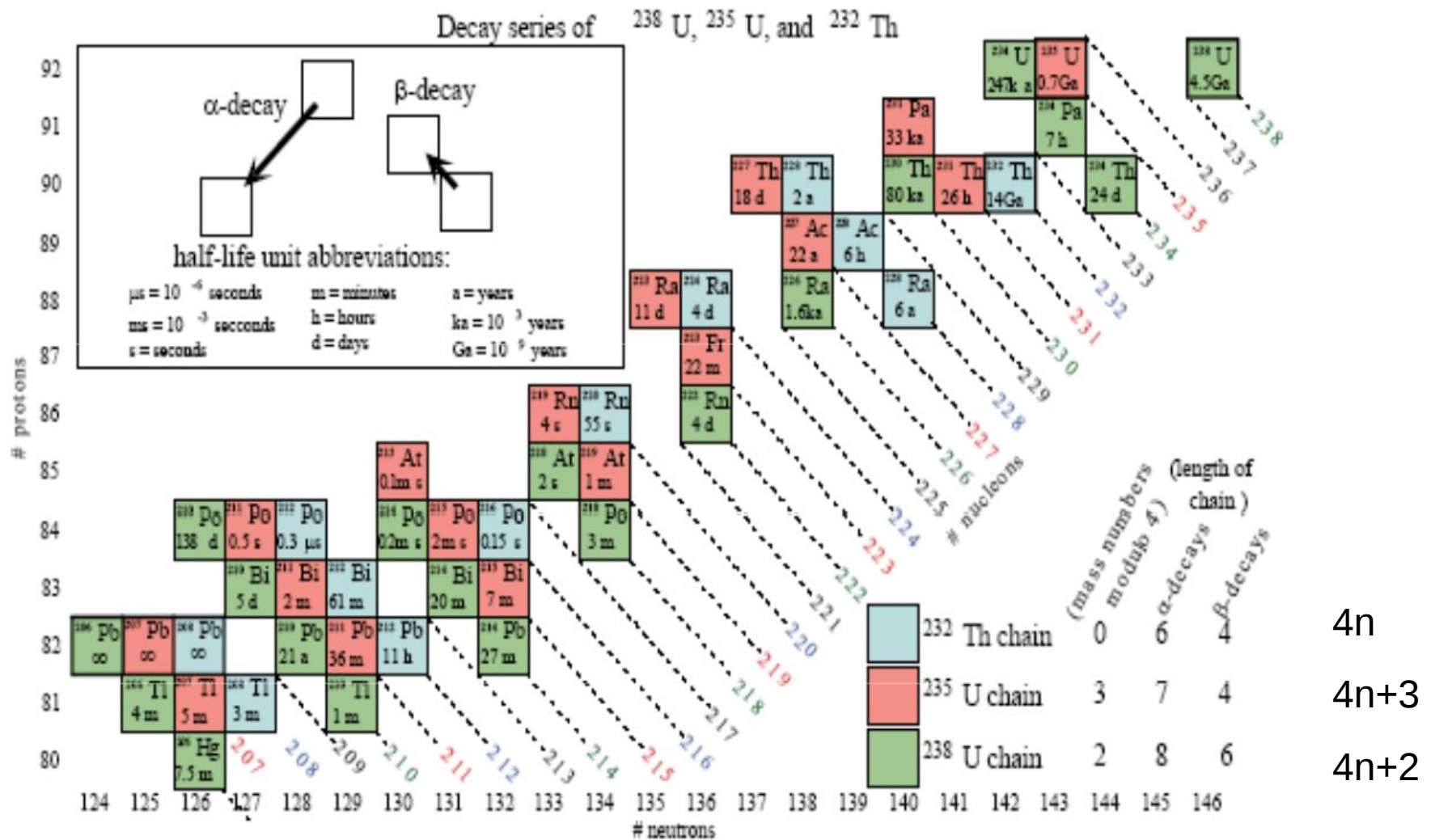
Es gibt ein stabiles Isobar.

β^- Zerfall

β^+ Zerfall oder electron capture (EC)



Radioaktive Zerfallsreihe



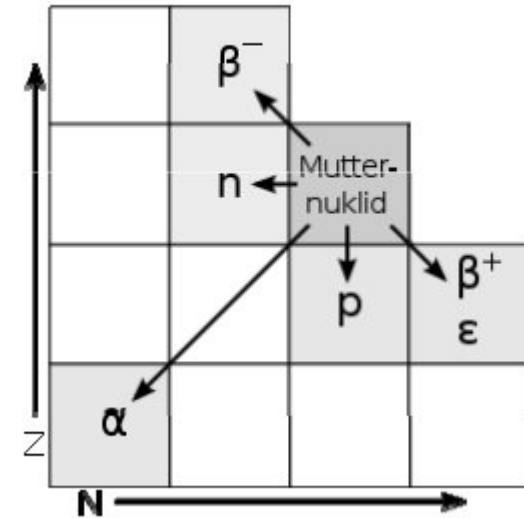
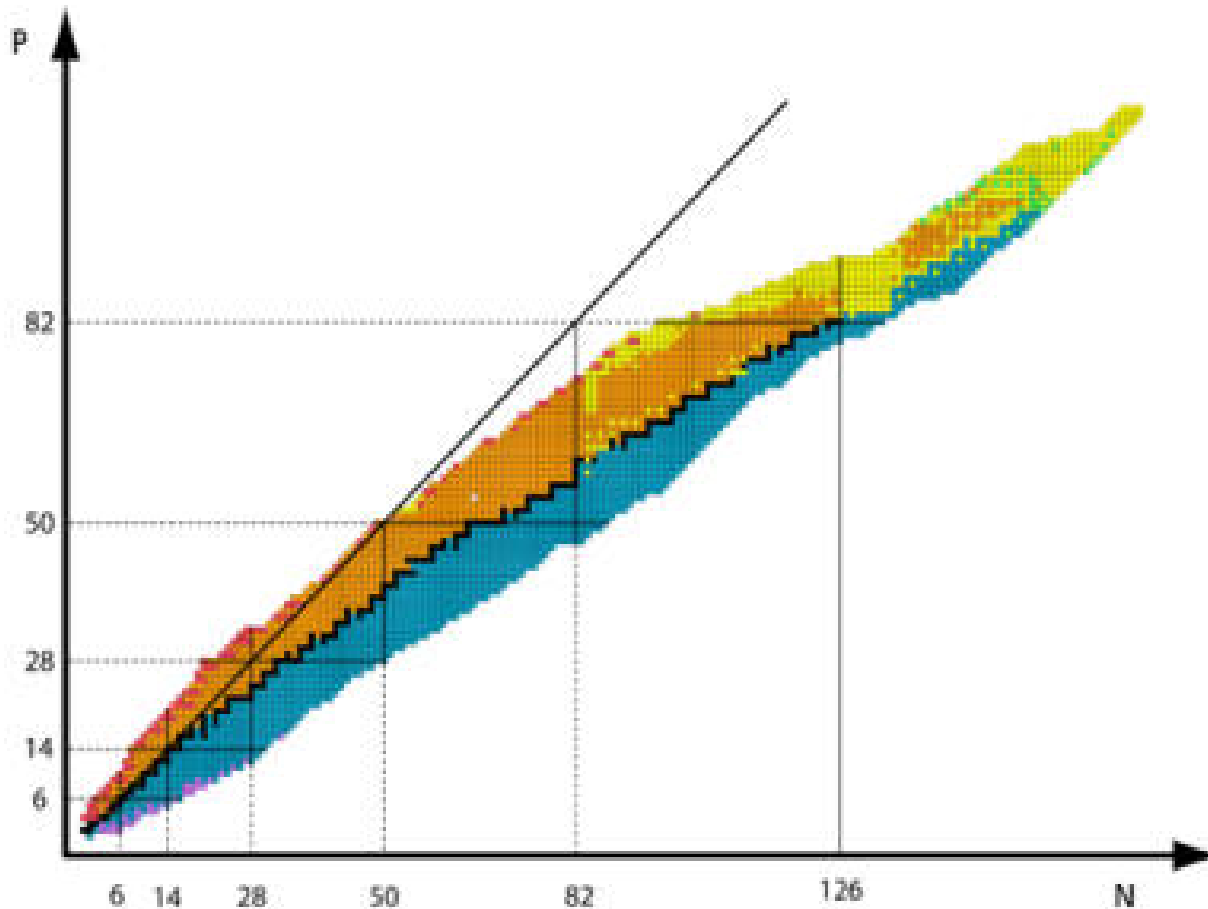
Die 4. Zerfallsreihe = Neptunium-237 (a. Plutonium 241) \rightarrow Thallium-205
 kommt in der Natur nicht mehr vor (bereits vollständig zerfallen)

$4n+1$

Stabile und instabile Nukleonen

Stabile Kerne beschränken sich auf schmales Band in N-Z Ebene

Bei schweren Kernen wird zur Überwindung der Coulomb-Barriere mehr Neutronen eingebaut ($N > Z$)



Stabile Kerne

β^- Zerfälle

β^+ Zerfälle + EC

α -Zerfälle

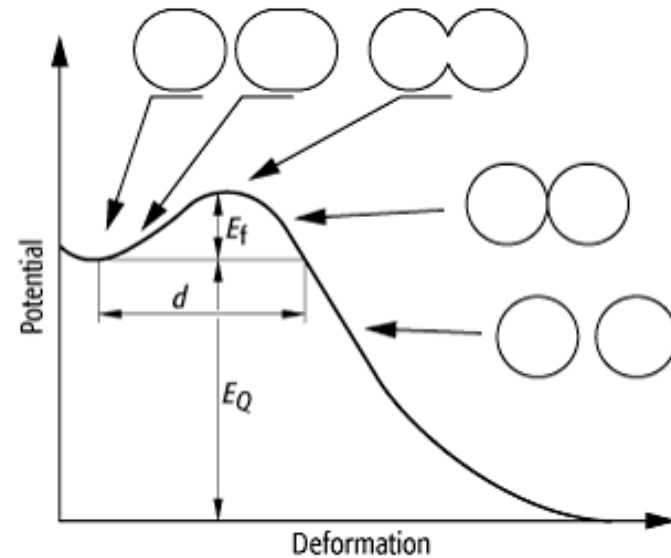
Spaltung

Spontane Spaltung

Verformung der Nukleonverteilung zu Ellipsoid

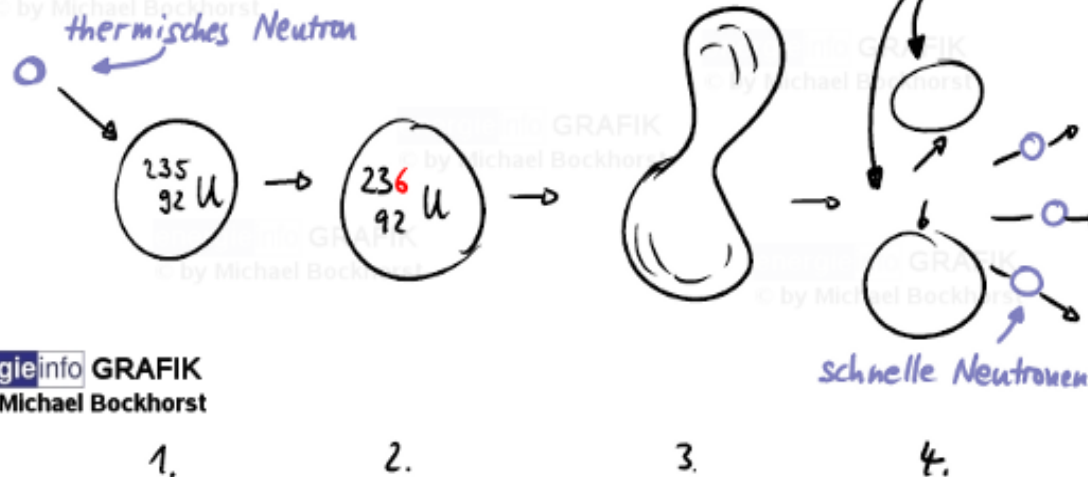
Bindungsenergie verringert sich wegen vergrößerter Oberfläche

gleichzeitig sinkt Coulomb-Abstoßung



Induzierte Spaltung:

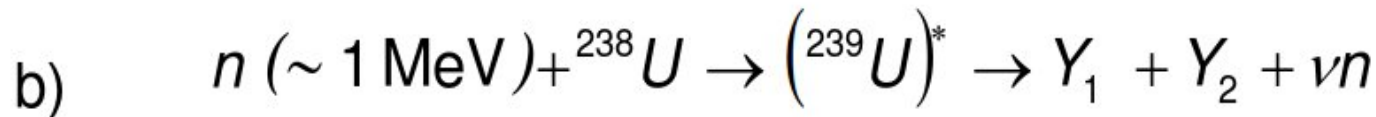
Vier-Phasen-Modell der Kernspaltung von Uran-235



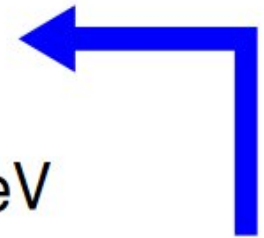
Induzierte Spaltung



$$E_B = m({}^{235}\text{U}) + m_n - m({}^{236}\text{U}) = 6.4 \text{ MeV} > \Delta E_{\text{Spalt}} \approx 5.8 \text{ MeV}$$



$$E_B = m({}^{238}\text{U}) + m_n - m({}^{239}\text{U}) = 4.8 \text{ MeV} < \Delta E_{\text{Spalt}} \approx 6.4 \text{ MeV}$$



Bei genügend hoher Neutron-Energie ist gelegentliche Spaltung von ${}^{238}\text{U}$ möglich.

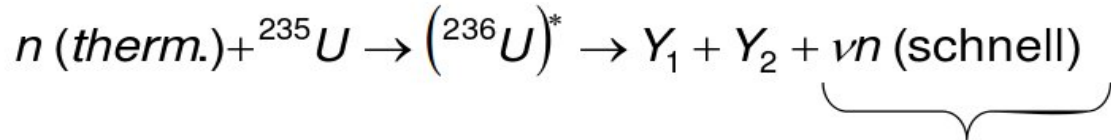
Warum kann man ${}^{235}\text{U}$ bereits mit thermischen Neutronen spalten?

a) ug \rightarrow gg : Paarungsenergie wird als zusätzliche Energie frei

b) gg \rightarrow ug : Paarungsenergie wird zusätzlich benötigt

Kernspaltung in Kernkraftwerke

Kettenreaktion nur mit thermischen Neutronen und Spaltung von ^{235}U möglich



Im Mittel 2.3 Neutronen (schnell)

Neben direkten Neutronen entstehen auch verzögerte (1ms ... 1min) Neutronen (~1%) die für Steuerung eines Reaktors wichtig sind.

Energiebilanz bei Spaltung

E_{kin} der Spaltfragmente	167	±	5 MeV
E_{kin} aller Spaltneutronen	5	±	0.2 MeV
prompte γ -Strahlung	8	±	1.5 MeV
verzögerte γ -Strahlung	6	±	1 MeV
E_{kin} der e^- aus dem β -Zerfall	6	±	1 MeV
E_{kin} der $\bar{\nu}_e$ aus dem β -Zerfall	12	±	2.5 MeV
Summe Q	204	±	6 MeV

Nutzbare Energie

$$Q - E_{kin}(\nu) = 192 \text{ MeV}$$



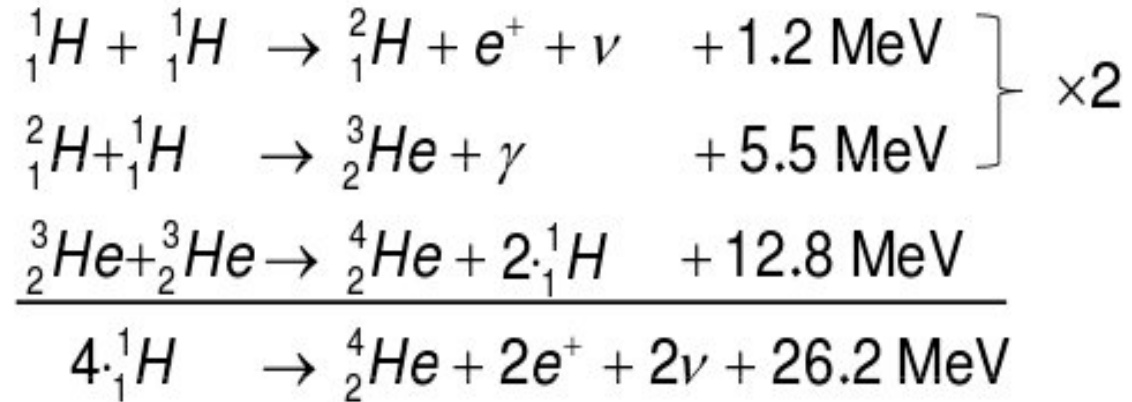
$$1\text{g U} \equiv 2.55 \text{ MWh}$$

Nachwärme: anfänglich bis zu 10% der Leistung. Aufgrund radioaktiver Zerf.

Wenn Masse des $^{235}\text{U} > 49 \text{ kg}$ (kritische Masse), dann werden schnelle Neutronen ausreichend abgebremst, um selbst wieder Kernreaktionen zu induzieren. (23 kg bei reflektierendem Wassermantel)

Energiegewinnung durch Fusion

a) pp-Zyklus der Sonne



Prozess wird durch erste Reaktion (schwache WW) limitiert
→ lange Lebensdauer der Sonne

b) Fusionsreaktoren nutzen einen Prozess der starken WW



Klausur 4.2.2015

- Beginn 9:00h (Einlaß ab 8:40h), Dauer 120 min
- Gruppe 1-6: INF 308 HS 1
Gruppe 7-9: INF 308 HS 2
Gruppe 10-13: INF 227 HS 1
- 5 Aufgaben TP, 5 Aufgaben FK
- erlaubte Hilfsmittel: 1 A4 Blatt (beidseitig) handbeschrieben
- Studentenausweis bitte mitbringen (Kontrolle am Eingang)
- Taschenrechner werden gestellt
- Zulassung zur Klausur: > 60% der Punkte der Übungsblätter
(bei Grenzfällen entscheiden die Tutoren)
- zeitnahe Korrektur, Klausureinsicht Anfang der folgenden Woche
(Details werden per email bekannt gegeben)
- Bei Krankheit, bitte Attest vorlegen
(sonst zählt Fehlen bei der Klausur als Fehlversuch)