

Kernmodelle

A. Tröpfchenmodell

Für den Kernradius nicht allzu leichter Kerne gilt: $r = r_o \cdot \sqrt[3]{A}$ mit $r_o = 1,4 \cdot 10^{-15} m$

Daraus folgt für das Kernvolumen V :

$$V \sim r^3 \sim A ; \text{ d.h. } \frac{V}{A} = \text{konst.} \text{ bzw. } \rho_{\text{Kern}} = \frac{m}{V} = \text{konst.}$$

Die Dichte der Materie ist in allen Kernen gleich (wie bei einem Wasserstropfen).

Die Kernmateriedichte beträgt $\rho_{\text{Kern}} \approx 2 \cdot 10^{14} \frac{g}{cm^3}$!!!

Makroskopische Körper mit dieser Dichte existieren nach heutiger Meinung der Astrophysiker als so genannte Neutronensterne (Pulsare).

Ein angeregter Kern kann im Tröpfchenmodell so beschrieben werden:

- Kern führt Schwingungen aus
- Kern besitzt höhere „Kerntemperatur“
- Kern „dampft“ Teilchen ab

B. Potentialtopf-Modell des Atomkerns (Schalenmodell)

Kräfte außerhalb des Kerns:

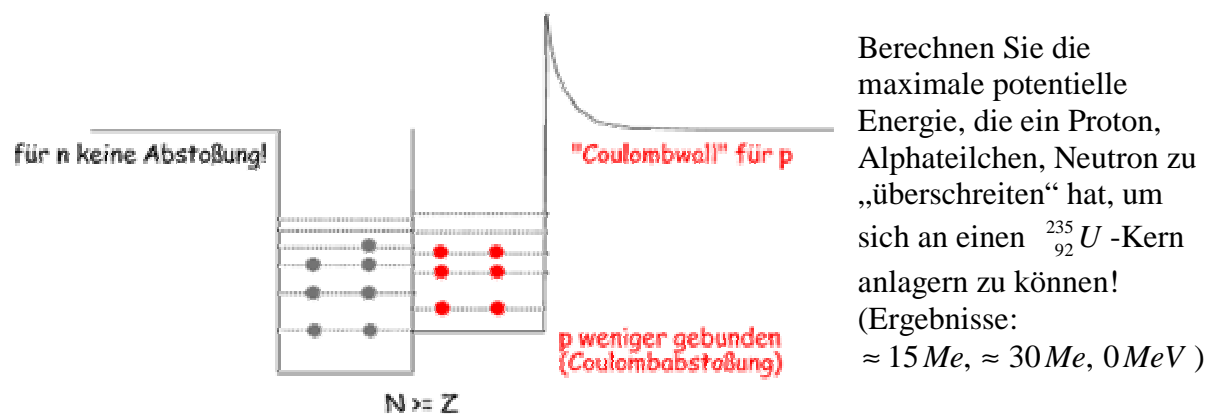
Coulombkraft auf die geladenen Protonen und keine Kraft auf die ungeladenen Neutronen. Die Gravitationskraft kann natürlich vernachlässigt werden!

Kräfte im Kern:

Den Zusammenhalt des Kerns bewirken die so genannten Kernkräfte (starke Kraft). Da die genaue Gesetzmäßigkeit der Kernkräfte heute noch nicht bekannt ist, kennt man auch nicht den genauen Potentialverlauf für Nukleonen im Kern.

Näherungsweise: Potentialtopf mit „senkrechten“ Wänden.

Das Coulombpotential wird für $r < r_{\text{Kern}}$ durch das wesentlich stärkere Kernpotential überlagert.



Der für Protonen und Neutronen unterschiedliche Gesamtpotentialverlauf wird oft in einem Diagramm gemeinsam dargestellt. Es gilt:

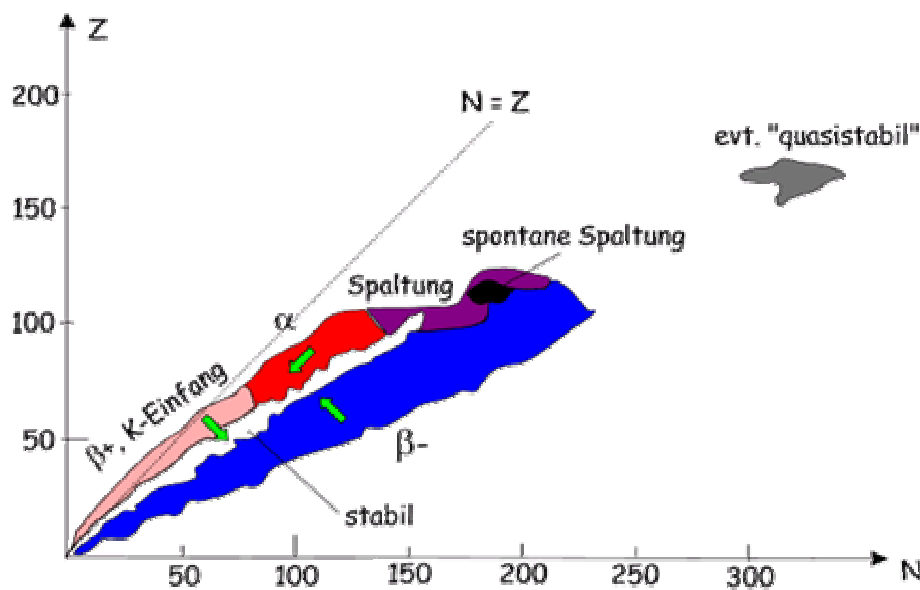
- Die Nukleonen „liegen“ energetisch nicht „am Boden“ des Potentialtopfs (Nullpunktsenergie wegen Unschärferelation!).
- Quantenphysikalische Berechnungen ergeben diskrete Energiestufen für die Nukleonen.
- Die Besetzungsmöglichkeit regelt das Pauli-Prinzip für Fermionen (Teilchen mit halbzahligem Spin): Auf jeder Energiestufe können sich nur zwei Protonen (Neutronen) mit entgegengesetztem Spin befinden.

- Befindet sich der Kern im Grundzustand, so liegt die oberste besetzte Stufe noch um die so genannte „Separationsenergie“ unter dem Nullpunkt des Kernpotentials.
- Daraus ergeben sich für Protonen und Neutronen getrennte Potentialtöpfe mit unterschiedlichen Stufen und Tiefen.
- Bei schweren Kernen liegen die Topftiefen für Protonen bei rund - 40 MeV und bei Neutronen bei etwa - 50 MeV.
- Bei einem stabilen Kern liegen die zuletzt gebundenen Protonen und Neutronen etwa auf gleicher Höhe; das erklärt, warum in stabilen schweren Kernen mehr Neutronen als Protonen vorkommen.
- Die Energiestufen erklären die diskreten Gammaspektren angeregter Kerne.

In der Nuklidkarte sind alle in der Natur vorkommenden und alle künstlich erzeugten Nuklide angegeben.

Die radioaktiven Kerne zerfallen – abhängig vom Verhältnis der Protonen- zur Neutronenanzahl – nach dem β^- -, α -, β^+ - Zerfall oder dem *K-Einfang*.

Unter Umständen gibt es sehr schwere „quasistabile“ Kerne.



Aufgabe aus dem Physik-Abitur 1996 (LK-Ph, IV / 2)

Alphazerfall von Polonium 210

Das Polonium-Isotop ^{210}Po geht durch α -Zerfall mit einer Halbwertszeit von 138 d in ^{206}Pb über. Atommassen: ^{210}Po : 209,98288u; ^{206}Pb : 205,97447 u

- Ermitteln Sie die Energiebilanz (Q-Wert) des Prozesses. [zur Kontrolle: 5,4 MeV] (4 BE)
- Wie groß ist die maximale kinetische Energie des α -Teilchens, wenn man annimmt, dass der Ausgangskern ruht? (Nichtrelativistische Rechnung.) Warum können auch andere diskrete Energiewerte von α -Teilchen vorkommen? (8 BE)

Es liegt ein Präparat von 1,00 mg ^{210}Po vor, das in einer gasdichten ansonsten zunächst evakuierten Kapsel mit einem Innenvolumen von 12 mm^3 eingeschlossen ist.

- Wie groß ist die totale Wärmeabgabe des Präparats während der ersten 100 Tage, wenn die gesamte freiwerdende Energie in Wärme umgesetzt wird? (7 BE)
- Welcher Gasdruck herrscht nach 100 Tagen bei 20°C in der Kapsel, wenn alles gebildete Helium dort verbleibt? (6 BE)

Kurzlösung:

a) $Q = (m(\text{Po}) - m(\text{Pb}) - m(\text{He})) \cdot c^2 = 5,4 \text{ MeV}$

b) Impulssatz: $m_{\text{He}} \cdot v_{\text{He}} = m_{\text{Pb}} \cdot v_{\text{Pb}}$
Energiesatz: $\frac{1}{2} m_{\text{He}} \cdot v_{\text{He}}^2 + \frac{1}{2} m_{\text{Pb}} \cdot v_{\text{Pb}}^2 = Q$

$E_{\text{kin } \alpha} = 5,3 \text{ MeV}$

Es können auch niedrigere α -Energien vorkommen, wenn man davon ausgeht, dass der Tochterkern zunächst in einen angeregten Zustand übergeführt wird.

c) $N(0) - N(t) = 1,13 \cdot 10^{18}$

$E_{\text{total}} = 9,8 \cdot 10^5 \text{ J}$

e) $p \cdot V = (N(0) - N(t)) \cdot k \cdot T \Rightarrow p = 3,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$