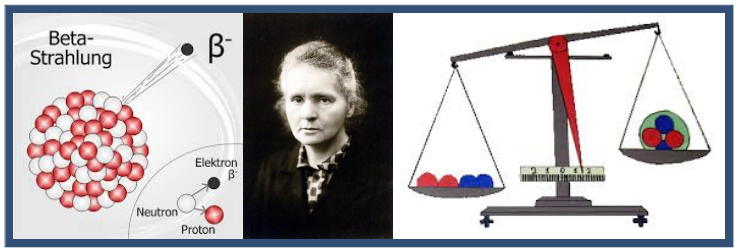
Kernmodell der Quantenphysik

M. Jakob

Gymnasium Pegnitz

10. Dezember 2014



Inhaltsverzeichnis

Atomkerne

Potentialtopfmodell

In diesem Abschnitt

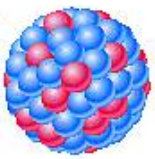
Atomkerne
1.1 Aufbau
1.2 Starke Wechselwirkungen

Potentialtopfmodell

Tröpfchenmodell Atomkerns

Wesentliche Eigenschaften von Atomkernen können im Tröpfchenmodell beschrieben werden.

Tröpfchenmodell Atomkerns



- Zwischen den Nukleonen (Protonen und Neutronen) gibt es stark anziehende Kernkräfte mit sehr kurzer Reichweite.
- Die abstoßende Coulombkraft ist im Nahbereich schwächer als die Kernkraft hat aber eine größere Reichweite und begrenzt damit die Größe von Atomkernen.
- Der Atomkern kann verformt werden, dabei aber sein Volumen nicht verändern. Er bildet also eine dichteste Kugelpackung.

Bezeichnung von Atomkernen

Bezeichnung von Atomkernen

- Ein Nuklid X mit N Neutronen, der Massenzahl A und der Protonenzahl Z wird mit ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$. Es gilt $A = Z + N$.
  Beispiele:
  ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$, ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$, ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$, ${}^{1}_{1}\mathrm{p}$, ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$.
- Atome mit gleicher Kernladungszahl und unterschiedlichen Massenzahlen werden als Isotope bezeichnet.
- Für den Kernradius gilt $r \approx \sqrt[3]{A} \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-15}$ m.

Bezeichnung von Atomkernen

Bezeichnung von Atomkernen

- Protonen besitzen die Ladung e und die Masse

$$m_p = 1{,}673 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

- Neutronen sind elektrisch neutral und besitzen die Masse

$$m_n = 1{,}675 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

- Für die Masse eines Nuklids gilt näherungsweise

$$m_K \approx Z \cdot m_p + N \cdot m_n$$

Übungen

- Versuch von Chadwick
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernphysik-grundlagen/versuche`
- Ü 1.1: Kernradius - Elastische Neutronenstreuung
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernphysik-grundlagen/aufgaben`
- Ü 1.2: Kerndichte
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernphysik-grundlagen/aufgaben`
- Ü 1.3: paetec S. 119 / 1, 2, 3, 6

In diesem Abschnitt

Atomkerne
1.1 Aufbau
1.2 Starke Wechselwirkungen

Potentialtopfmodell

Starke Kernkraft

Starke Kernkraft

Die Starke Kernkraft bewirkt, ähnlich wie Klebstoff, eine Anziehung nur zwischen unmittelbar beachbarten Nukleonen und hält so den Kern zusammen.

Massendefekt

- Masse-Energie-Beziehung in der Kernphysik
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernspaltung-und-kernfusion`

Massendefekt

Die Masse m eines Atomkerns ist stets kleiner als die Summe der Massen seiner Bestandteile. Dieser Massendefekt Δm entspricht der gesamten Kernbindungsenergie $\Delta m \cdot c^2$ des Atomkerns. Es gilt

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m > 0$$

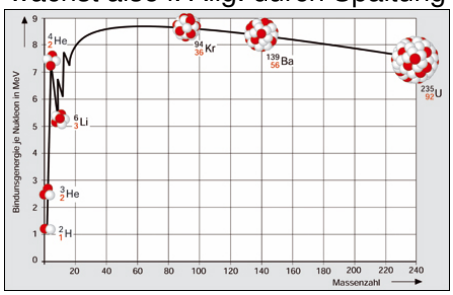
Die mittlere Bindungsenergie E_B/A pro Nukleon eines Kern mit A Nukleonen ergibt somit

$$\frac{E_B}{A} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{A}.$$

Mittlere Bindungsenergie

Mittlere Bindungsenergie

Energie kann bei Kernumwandlungen gewonnen werden, wenn die mittlere Bindungsenergie wächst also i. Allg. durch Spaltung schwerer oder Fusion leichter Kerne. ^{56}Fe ist stabil. Der „Zickzack“-Verlauf weist auf eine Schalensturktur des Kerns hin.



Übungen

- Musteraufgabe paetec 111

- Ü 1.4: Leifi-Aufgaben
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernphysik-grundlagen/versuche`

(a) Bindungsenergie pro Nukleon (Abitur BY 2001 LK A4-1)
(b) Relativer Massendefekt

- Ü 1.5: paetec S. 119 / 9, 11, 12, 13, 14, 15

In diesem Abschnitt

Atomkerne

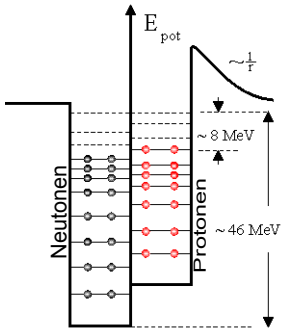
Potentialtopfmodell
2.1 Begriff
2.2 Radioaktive Strahlung
2.3 Stabilität von Atomkernen

Potentialtopfmodell des Atomkerns

- Ü 2.1: Einfache Kernmodelle
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernphysik-grundlagen`

Potentialtopfmodell des Atomkerns

- Das Neutronenpotential ist wegen der fehlenden el. Abstoßung tiefer.
- Für ein Nukleon ist das Kernpotential ortsunabhängig (Topfform)
- Auch der Kern hat eine schalenähnliche Strukur



Potentialtopfmodell des Atomkerns

Das Potenialtopfmodell kann folgende Sachverhalte erklären

- Bilden frei Nukleonen einen Atomkern, so gibt jedes Nukleon einen Teil seiner Energie (die Bindungsenergie) ab für den Zusammenhalt der Atomkerns
- Das Zustandekommen vom Radioaktivität in Form von α-β- und γ-Strahlung.

In diesem Abschnitt

Atomkerne

Potentialtopfmodell
2.1 Begriff
2.2 Radioaktive Strahlung
2.3 Stabilität von Atomkernen

β-Strahlung

Typische Reaktionen:

β^--Strahlung ${}^{214}_{82}\mathrm{Pb} \longrightarrow {}^{214}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \overline{\nu}$

β^+-Strahlung ${}^{30}_{15}\mathrm{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + \nu$

Topfmodell ...

β-Strahlung

Durch β^--Strahlung

- wandeln sich so lang Neutronen in Protonen um, bis beide im Potentialtopf etwa gleiches Energieniveau (Fermieenerige) besitzen. Bei der Fermienergie sind Atomkerne stabil. Dabei wird ein Elektron und ein Antineutrino emmitiert.

$$\mathrm{n} \longrightarrow \mathrm{p} + \mathrm{e}^- + \overline{\nu}$$

- Die emmitierten Elektronen besitzen Energien von ca. 0 bis 1 MeV, den Rest das Antineutrino.

β-Strahlung

Durch β^+-Strahlung

- wandeln sich Protonen in Neutronen um

$$\mathrm{p} \longrightarrow \mathrm{n} + \mathrm{e}^+ + \nu.$$

- Die Umwandlung von Protonen in Neutronen kann auch durch einen Elektroneneinfang stattfinden.

$$\mathrm{p} + \mathrm{e}^- \longrightarrow \mathrm{n} + \nu.$$

Übung

- Herleitung rel. Impulsformel
- Abschätzen der kin. Energie der Elektronen über Heisenberg
- Abschätzen der Coulombpotentials

γ-Strahlung

Typische Reaktion: ${}^{208}_{82}\mathrm{Pb}^{*} \longrightarrow {}^{208}_{82}\mathrm{Pb} + \gamma$
Topfmodell ...

γ-Strahlung

γ-Strahlung

- entsteht (auch) ohne Kernumwandlung, wenn Nukleonen ihr Energieniveau wechseln.
- Das Energiespektrum der γ-Quanten ist typisch für das jeweilige Nuklid und ähnelt den optischen Übergängen von Elektronen in der Hülle und belegt so den Energieschalenaufbau der Nukleonen.

α-Strahlung

Typische Reaktion: ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\alpha$
Topfmodell ...

α-Strahlung

Durch α-Strahlung

- bilden zwei Neutronen und zwei Protonen ein α-Teilchen, das unter Nutzung des Tunneleffekts den Kern verlässt.
- Die emmitierten α-Teilchen besitzen Energien von ca. 2 bis 5 MeV.

In diesem Abschnitt

Atomkerne

Potentialtopfmodell
2.1 Begriff
2.2 Radioaktive Strahlung
2.3 Stabilität von Atomkernen

Stabilität von Atomkernen

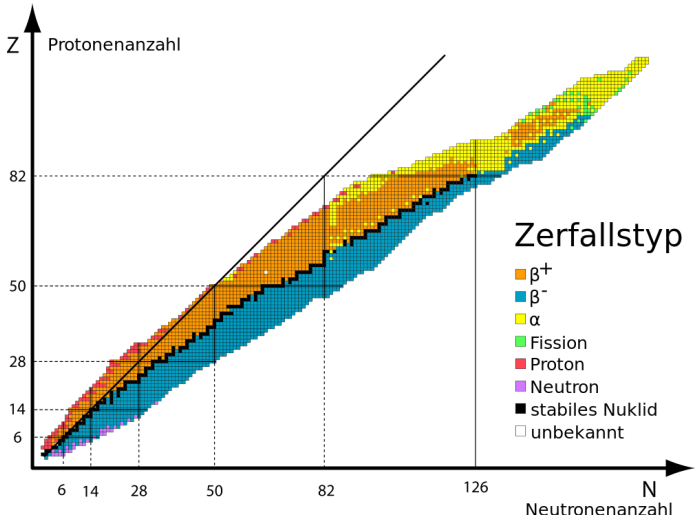
Stabilität von Atomkernen

Atomkerne sind nur stabil, wenn das Energieniveau der Neutronen etwa gleich dem der Protonen ist. Durch Kernumwandlung wird das Gleichgewicht ggf. hergestellt. Übersicht verschaft eine Nuklidkarte.

Nuklidkarte

- Kennzahlen von Kernen
  http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernphysik-grundlagen

Nuklidkarte



Nuklidkarte

- guckst du Buch hinten

- Nuklidkarte
`http://www.unseld-schule.de/Nuklidkarte.jpg`
- Interaktives PSE
`http://www.periodensystem-online.de/index.php`

- Es gibt wesentlich mehr instabile Kerne als stabile (aber nicht mehr stabile Atom als instabile).
- Mit steigender Ordnungszahl wächst die Anzahl der Neutronen gegenüber der Anzahl der Protonen.
- Die Positivstrahler liegen i. Allg. oberhalb, die Negativstrahler unterhalb der Stabilitätslinie.

Übungen

- Ü 2.2: KV Buch S. 117

- Ü 2.3: paetec S. 120 / 18, 19, 20