

Kernphysik

Modelle für den Atomkern

Tröpfchenmodell:

- Atomkern besteht aus Protonen und Neutronen $\Rightarrow$ dicht gepackt
- verhalten sich ähnlich wie ein Wassertropfen
- inkompressibel
- Kernmaterie hat sehr große Dichte, stabiles Gebilde
- Radius wächst mit Nukleonenzahl (Massezahl) $A \Rightarrow r = 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot A^{1/3}$
- Protonenzahl = Ordnungszahl = Z
- N = Neutronenzahl
- $A = Z + N$
- $m_K = Z \cdot m_p + N \cdot m_n$
- atomare Masseinheit: $u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $m_K = A \cdot u$
- Grundbausteine des Atoms: ${}^0_{-1}e$ 1_1p 1_0n
- Nuklid: ein durch Massenzahl und Kernladungszahl eindeutig charakterisierter Atomkern
- Isotope: Atomkerne mit gleicher Protonenzahl, aber unterschiedlicher Anzahl von Neutronen
- Eigenschaften Kernkräfte:
 - kurze Reichweite; kleiner $2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
 - ladungsunabhängig
 - viel stärker als Coulombkraft
- Grenzen: Quanteneigenschaften nicht erklärbar

Potenzialtopfmodell:

- Nukleonen haben im Atomkern nur diskrete Energieniveaus
- Kernkräfte haben scharf begrenzte Reichweite
- Coulombkräfte wirken nur auf positive Teilchen
- stabile Zustände durch Minimum an Energie gekennzeichnet
- Entstehung der Kernstrahlung erklärbar
- Nukleonen müssen sich in einer Quantenzahl auf einem Energieniveau unterscheiden
- Grenzen: Stärke der Wechselwirkung fraglich

Bindungsenergie

Massendefekt:

Die Masse eines Kerns ist stets kleiner als die Summe der Massen seiner Nukleonen.

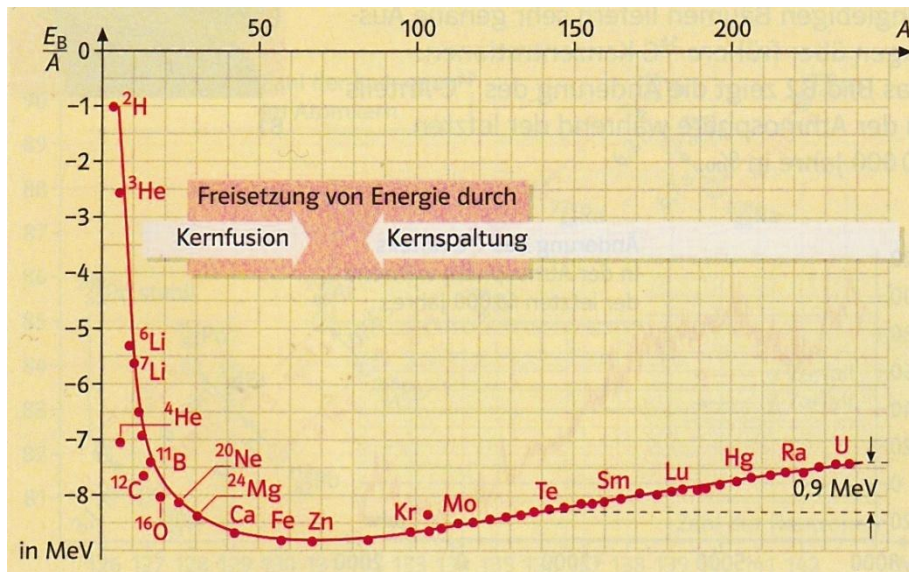
$$\Delta m = m_K - Z \cdot m_p - N \cdot m_n$$

Δm ... Massendefekt

m_K ... Masse des neuen Kerns

Bindungsenergie:

$$E = \Delta m \cdot c^2 \rightarrow \frac{\Delta E}{A} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{A}$$

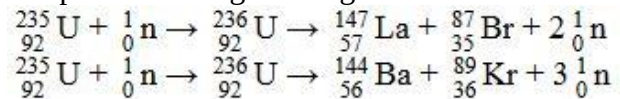


Kernspaltung:

Voraussetzungen:

- kritische Masse muss erreicht werden
- Anregung durch langsame Neutronen

Beispiele Zerfallsgleichungen:



- es entstehen 2 bis 3 schnelle Neutronen und Energie

Kernzerfälle

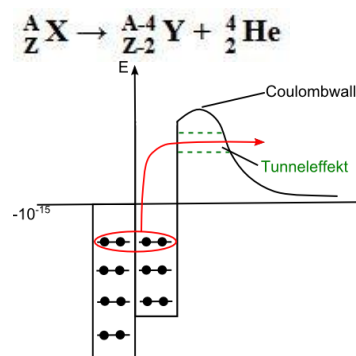
- stabile Kerne
 - minimale Energiezustände
 - bestimmte Werte von A und Z
 - "Tal der Stabilität"
- instabile Kerne
 - abweichende Werte von A und Z
 - energetisch ungünstig
 - Kernzerfälle in günstigere Zustände
- Beschreibung mit:
 - Wechselwirkungen
 - Zerfallsmechanismen
 - Erhaltungssätzen

	α	β	γ
Ablenkung im Magnetfeld	ja, stets in eine Richtung	ja, beide Richtungen beobachtet	nein
Durchdringungsvermögen	schwach (Papier)	mittel (Buch)	stark (Bleiplatte)
physikalische Eigenschaften	positive Ladung große Masse	positive oder negative Ladung kleine Masse	keine Ladung keine Masse
Art der Strahlung	${}^4_2\text{He-Kerne}$ α -Teilchen	Elektronen (β^-) Positronen (β^+)	elektromagnetische Strahlung Photonen
Wechselwirkungen	stark und elektromagnetisch	schwach und elektromagnetisch	elektromagnetisch

Alphazerfall:

Der Mutterkern X mit Nukleonenzahl A und Protonenzahl Z zerfällt unter Aussenden eines Alphateilchens in den Tochterkern Y mit einer um 4 verminderten Nukleonenzahl und um 2 verminderten Protonenzahl.

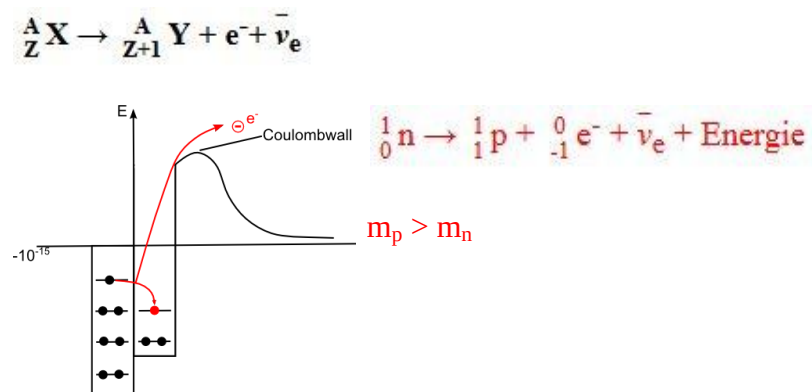
Die allgemeine Reaktionsgleichung des Alphazerfalls lautet:



β^- -Zerfall:

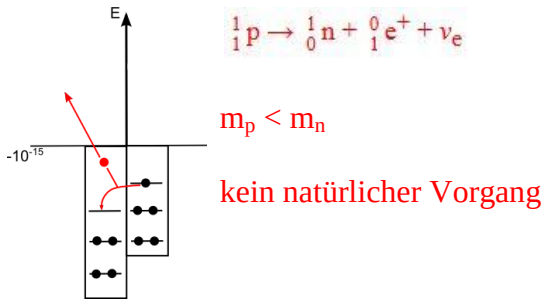
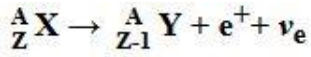
Beim β^- -Zerfall wird im Kern ein Neutron in ein Proton umgewandelt und ein hochenergetisches Elektron sowie ein Elektron-Antineutrino emittiert. Die Nukleonenzahl des Kerns ändert sich dabei nicht, seine Ordnungszahl erhöht sich um eins.

Die allgemeine Reaktionsgleichung des β^- -Zerfalls lautet:



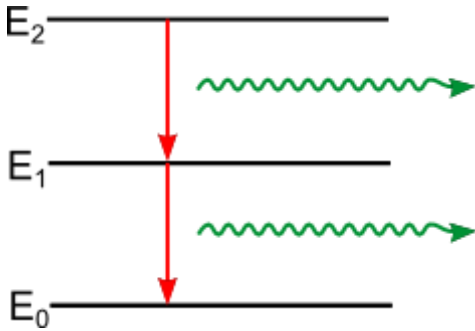
β^+ -Zerfall:

Beim β^+ -Zerfall wird im Kern ein Proton in ein Neutron umgewandelt und ein hochenergetisches Elektron sowie ein Elektron-Antineutrino emittiert. Die Nukleonenzahl des Kerns ändert sich dabei nicht, seine Ordnungszahl verringert sich um eins. Die allgemeine Reaktionsgleichung des β^+ -Zerfalls lautet:



γ -Zerfall:

- diskrete Energieniveaus im Kern
 - Grundzustand
 - angeregte Zustände
- Übergänge durch Aussenden elektromagnetischer Strahlung $\Rightarrow$ ähnlich zum Atom
- reine elektromagnetische Strahlung



Forschungsergebnisse von Curie:

1. Ein radioaktiv strahlender Stoff ionisiert die Umgebungsluft (macht sie elektrisch leitfähig).
2. Ein stark radioaktiv strahlender Stoff gibt Wärme ab, ohne dass ihm von außen her Energie zugeführt werden muss.
3. Radioaktivität schädigt lebenden Zellen (u.a. erhöhtes Krebsrisiko).
4. Die Eigenschaft "radioaktiv" kann nicht beseitigt werden.

Altersbestimmung

- Verhältnis zwischen Kernanzahl bilden
- $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow \frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{N_0}{N(t)} \right)$
- Grundproblem: Anzahl Ausgangskerne unbekannt
- Lösung: Verhältnis zwischen Ausgangs- und Folgekernen
- Ausgangskerne X: $N_X(t) = N_{X0} \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
- Tochterkerne Y: $N_Y(t) = N_{X0} \cdot N_X(t) = N_{X0} \cdot N_{X0} \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
- $\frac{N_Y(t)}{N_X(t)} = \frac{N_{X0}(1 - e^{-\lambda \cdot t})}{N_{X0} \cdot e^{-\lambda \cdot t}} = e^{\lambda \cdot t} - 1$

C-14-Methode:

- Entstehung durch Energiezufuhr aus Stickstoff
- Zerfallsgleichung: ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}$
- Verhältnis zwischen 2 Isotopen eines Elements; Stickstoff ist gasförmig
- $t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{V_0}{V_t} \right)$ V... Verhältnis N_{C14} / N_{C12}
- Bestimmung des Isotopenverhältnisses mittels Massenspektrograph
- Problem: Ausgangsverhältnis $\Rightarrow$ Eignung einige 1000 Jahre

Kalium-Argon-Methode:

- Metall der Erdkruste
- Zerfallsgleichungen:
 - ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Ca} + {}^0_{-1}e^- + \bar{\nu}$
 - ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{18}\text{Ar} + {}^0_1e^+ + \nu$ Energiezufuhr
- Verhältnis zwischen Ausgangs- und Folgekernen
- $\frac{N_{Ar}(t)}{N_K(t)} = \frac{N_{Ar0}(1 - e^{-\lambda \cdot t})}{N_{K0} \cdot e^{-\lambda \cdot t}} = e^{\lambda \cdot t} - 1$
- $t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(1 + \frac{0,11 \cdot N_{Ar}(t)}{N_K(t)} \right)$
- Eignung: lange Zeiträume