
6.2 Kernmassen; Massendefekt, Kernbindungsenergie

Massendefekt

Mit dem Massenspektrographen (vgl. letztes Kapitel) lässt sich die Masse eines Protons, aus den Wechselwirkungen mit Rückstoßkernen die Masse eines Neutrons sehr genau bestimmen. Als genaue Werte erhält man $m_p = 1,0072766 \text{ u}$ bzw. $m_n = 1,0086654 \text{ u}$.

Unter der gesicherten Annahme, dass Protonen und Neutronen die einzigen Kernbausteine sind, kann aus der Kernladungszahl Z und der Neutronenzahl N die Gesamtmasse eines jeden Kerns berechnet werden.

Tatsächlich stellt sich aber heraus, dass die Masse eines Nuklids stets kleiner ist als die Summe der Massen seiner Nukleonen. Beim Zusammenbau von Protonen und Neutronen zu einem Atomkern entsteht also ein Massendefekt Δm , für den gilt:

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

Für Helium gilt beispielsweise:

$$\Delta m_{\text{He}} = 2 \cdot 1,6725 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 2 \cdot 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - 6,6442 \cdot 10^{-27} \text{ kg}, \text{ also } \Delta m = 0,0504 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Anmerkung:

Der He-Kern hat einen besonders großen Massendefekt!

Bindungsenergie

Das Einsteinsche Gesetz über den Zusammenhang zwischen Masse und Energie

$$W = m \cdot c^2$$

erlaubt eine einleuchtende Deutung des Massendefekts: Solange sich die Nukleonen noch nicht zu einem Kern vereinigt haben, ist die zwischen ihnen bestehende potentielle Energie relativ groß. Bei gegenseitiger Annäherung wird die potentielle Energie kleiner und erreicht ihren kleinsten Wert bei der Bindung der einzelnen Nukleonen im Atomkern. Bei der Vereinigung von Protonen und Neutronen zu Kernen wird also Energie frei, die bei der Trennung wieder aufgebracht werden muss. Diese Energie heißt Bindungsenergie.

Energieverlust ist nach der Einsteinschen Gleichung mit einem Massenverlust verbunden, der sich im Massendefekt Δm äußert. Es gilt daher der Zusammenhang

$$E_{\text{Bindung}} = \Delta m \cdot c^2.$$

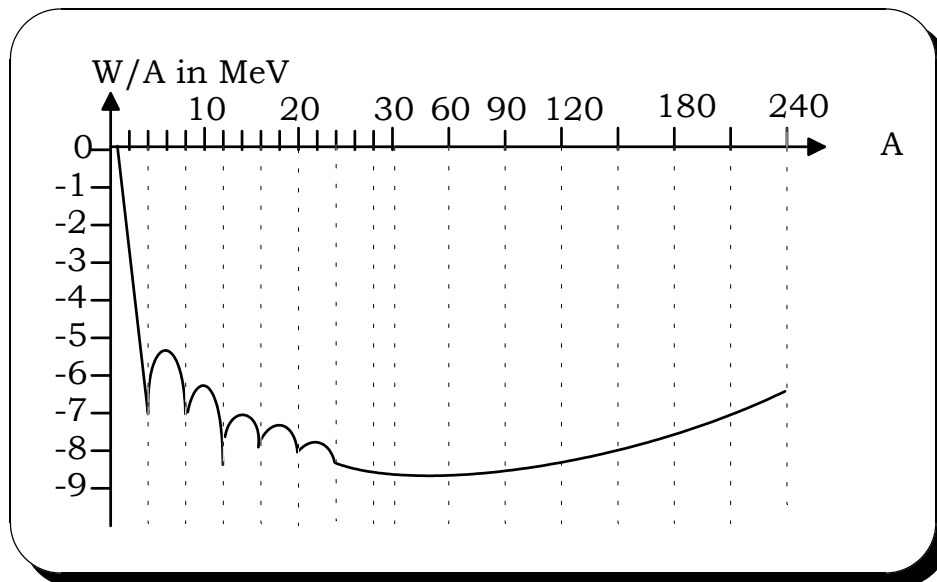
Für den Heliumkern ergibt sich z.B. aus dem Massendefekt eine Bindungsenergie $E_{\text{He}} = 28,3 \text{ MeV}$.

Von großer Bedeutung ist, um welchen Wert die Energie eines einzelnen Nukleons im Mittel abnimmt, wenn es in den Kern eingebaut wird. Diese mittlere Bindungsenergie je Nukleon beträgt wiederum für den Heliumkern $W_B = \frac{W}{A} = 7,1 \text{ MeV}$.

Zusammenfassung: Die Masse eines Atomkerns ist kleiner als die Summe der Massen seiner Bestandteile (Protonen und Neutronen) vor der Vereinigung. Die Differenz heißt Massendefekt Δm . Die Energie jedes Atomkerns liegt um die Bindungsenergie $W_B = \Delta m \cdot c^2$ unter der Gesamtenergie aller seiner freien Bestandteile.

Bindungsenergie je Nukleon

Die Bindungsenergie je Nukleon ist nicht für alle Kerne gleich. Trägt man sie über der Massenzahl A auf, erhält man folgendes Diagramm:



Man erkennt, dass die Bindungsenergie/Nukleon im Mittel 7 - 9 MeV beträgt. Die Stabilität, die mit wachsender Bindungsenergie/Nukleon wächst, nimmt zunächst mit wachsender Massenzahl zu und hat ein absolutes Maximum bei $A = 56$. Daneben treten vor allem bei leichteren Kernen mehrere lokale Maxima auf, die dadurch gekennzeichnet sind, dass es sich um gg-Kerne handelt, eine Konfiguration, die offenbar energetisch besonders günstig ist (vgl. dazu das nächste Kapitel!). Ein besonders ausgeprägtes Maximum erhält man bei ${}^4_2\text{He}$.

Bei den schwersten Kernen ist die Bindungsenergie/Nukleon relativ klein. Es genügt daher schon eine kleine Anregungsenergie, um sie in zwei etwa gleich schwere und stabilere Kerne zu spalten. Schwere Kerne liegen aber auch schon energetisch günstiger, wenn sie einen - seinerseits recht stabilen - He-Kern emittieren.

Es wird aber auch Energie frei, wenn man sehr leichte Kerne zu größeren Kernen verschmilzt. Energiegewinnung kann daher grundsätzlich durch Spaltung schwerer Kerne und Fusion leichter Kerne erzielt werden. In beiden Fällen werden Kerne mit kleiner Bindungsenergie/Nukleon in Kerne mit größerer Bindungsenergie/Nukleon übergeführt.

Zusammenfassung: Die mittelschweren Kerne haben die kleinste Energie (den größten Energiebetrag) $\frac{W}{A}$ je Nukleon. Durch die Kernspaltung schwerer Kerne und die Kernfusion leichter Kerne wird relativ viel Energie freigesetzt. Ursache dafür ist die unterschiedliche Energie pro Nukleon $\frac{W}{A}$ bei leichten, mittelschweren und schweren Kernen.