

Protokoll vom 13.11.2017 zu Kernspaltung und Kernfusion

Nachtrag zur Massenformel

$$M(A,Z) = NM_n + ZM_p + Zm_e - a_v A + a_s A^{2/3} + a_c Z^2 A^{-1/3} + a_a (N-Z)^2 (4A)^{-1} + \delta A^{-1/2}$$

$NM_n + ZM_p + Zm_e - a_v A$: Von der Summe der Neutronen-, Protonen- und Elektronenmasse wird die Bindungsenergie, die nur auf direkte Nachbarn wirkt, abgezogen.

$+a_s A^{2/3}$: An der Oberfläche ist die Bindungsenergie schwächer, da sie nicht in alle Richtungen wirkt.

$+a_c Z^2 A^{-1/3}$: Die Bindungsenergie wird schwächer, da gleichnamige Ladungen sich abstoßen (Coulombkraft).

$+a_a (N-Z)^2 (4A)^{-1}$: Je größer die Asymmetrie zwischen der Anzahl der Protonen und Neutronen ist, desto mehr wird die Bindung geschwächt (vgl. paulisches Ausschlussprinzip und Fermienergie).

$\delta A^{-1/2}$: Die Anzahl der Neutronen und Protonen kann in gerader-gerader, ungerader-gerader und ungerader-ungerader Form vorliegen. Dadurch wird die Stärke der Bindung beeinflusst.

1.3. Graphik

MeV (Mega-Elektronenvolt, Mega = Millionen) ist eine Energieeinheit, welche sich in die bekanntere Einheit Joule umrechnen lässt ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Es gibt unterschiedliche Atome (Elemente) mit gleicher Nukleonenzahl. Einem Wert auf der x-Achse können daher zwei Werte auf der y-Achse zugeordnet werden (Bsp.: ${}^3\text{T}$ und ${}^3\text{He}$). Die Bindungsenergie von unterschiedlichen Atomen (Elementen) mit der gleichen Nukleonenzahl unterscheidet sich immer. Dies liegt an dem unterschiedlichen Asymmetrie- und Paritätsterm.

1.4. Kernspaltung

Entdeckung

Otto Hahn entdeckte die Kernspaltung zufällig, indem er mit Hilfe einer Quelle, die automatisch Neutronen aussendet, ein Präparat (z. B. Uranerz) beschießen lässt. Durch chemische Methoden weist er die Spaltprodukte nach (1944 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet – „für seine Entdeckung der Spaltung schwerer Atomkerne“).

Anwendungsbeispiele

Atombombe: Die Kettenreaktion der Uranspaltung findet in der Bombe statt. 90% der Energie steckt in der hohen Bewegung der Spaltprodukte, was die Explosionskraft erklärt. Die Helligkeit bei einer Atombombenexplosion liegt nicht an der Gammastrahlung, da Gammastrahlung nicht sichtbar ist, sondern daran, dass Luft extrem verdichtet wird und dadurch aufgeheizt auf mehrere tausend Grad.

Kernreaktor: Im Kernreaktor muss die Kettenreaktion durch z. B. Graphitstäbe kontrolliert werden.

Was passiert, wenn zwei Neutronen zeitlich auftreffen?

Selbst wenn sie exakt gleichzeitig aufträfen, wäre es ineffizient, da das nur einen kleinen Zugewinn an Bindungsenergie bedeuten würde. Ein zeitgleiches Auftreffen ist aber sehr unwahrscheinlich.

1.5. Kernfusion

Warum benötigt eine Fusion so hohe Temperaturen?

Die Abstoßungskraft der Protonen muss überwunden werden, bevor die Bindungsenergie wirksam werden kann.

Wie ist der Tunneleffekt zu erklären?

Quantenphysikalisch hat jedes Atom mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine bestimmte Temperatur. Die Wahrscheinlichkeit ist immer größer null. Es ist also wahrscheinlich, dass ein Teilchen den „Coulomb-Wall“ trotz nicht ausreichender Außentemperatur überwindet (Vgl. Wasserkocher). Je mehr Teilchen vorhanden sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tunneleffekt stattfindet (z. B. ausreichend für Fusion in der Sonne).

Sonne

Supernova

Wenn alle Elemente aus den galaktischen Vorgängen der Sterne entstanden sind, wie kamen diese dann auf die Erde?

Bei Sternexplosionen lagert sich das Material in Wolken im All ab, in welchen wiederum neue Sternsysteme entstehen können. Bei der Entstehung der Erde hat sich das Material in der Erdkruste abgelagert, zu einem Anteil, der auf die Geschwindigkeit der Abkühlung des Erdkerns und dem Absinken der schweren Elemente zurückzuführen ist. Ein Teil der schweren Elemente kam auch durch starken Asteroideneinschlag in der Entstehungszeit der Erde auf die Erde.

Kühlt die Erde ab?

Ja, der Erdkern kühlt ab aber auf einer Zeitskala von Milliarden von Jahren.

Wie kann etwas Schwereres als Fe entstehen?

Indem man ein Fe-Isotop mit Neutronen beschießt, sich diese Neutronen anlagern und einen beta-Zerfall machen. Dadurch entstehen neue Elemente mit jenseits von Eisen. Dieser Prozess findet z.B. bei Supernovaexplosionen statt.

1.6 Alpha-Zerfall

Warum heißt der Alpha-Zerfall Alpha-Zerfall?

Diese Bezeichnung geht auf Ernest Rutherford zurück, der 1898 entdeckte, dass es zwei verschiedene Strahlungsarten gibt, die unterschiedlich weit in Materie eindringen können. Er nannte sie alpha und beta Strahlung.

Ist der Alphazerfall gefährlich?

„Alphateilchen knallt durch jede Elektronenhülle einfach durch!“ Alpha-Strahlung ist nur gefährlich, wenn die Teilchen mit hoher Geschwindigkeit auf biologische Materie auftreffen. Sie können aber einfach abgebremst werden.

Warum wird das zunächst positiv geladene Alpha-Teilchen wieder neutralisiert?

Das Alpha-Teilchen kann Elektronen aus der Atmosphäre binden und wird dadurch zu einem normalen Heliumatom.

1.7 Beta-Zerfall

Wichtig: Die Wahrscheinlichkeit für einen Beta-Zerfall im Atomkern ist ganz anders als wenn das Proton oder Neutron alleine (frei) vorliegt. Soweit wir im Moment wissen, ist das einzelne, freie Proton stabil für mind. 10^{30} Jahre.

Warum passiert der Beta-Zerfall?

Beta-plus: $p \rightarrow n + e^+$ (Positron, das schnell mit Elektron wieder zu Energie umgewandelt wird) + Neutrino

Beta-minus: $n \rightarrow p + e^-$ + Neutrino

Isobarenspektrum: Elemente mit gleicher Massenzahl (Nukleonenzahl) aber verschiedener Masse, zerfallen immer in Richtung des Elements aus dieser Reihe, das die geringste Masse und damit höchste Bindungsenergie hat.

1.8 Gamma-Zerfall

Atomkerne sind immer in Bewegung. Gibt es dann auch immer einen Gammazerfall?

Nein, es gibt einen deutlichen Unterschied zwischen einem angeregten Kern und einem Kern im Normalzustand (vgl. Prinzip Atomschalenmodell).

Warum kann Gammastrahlung durch Blei abgeschirmt werden?

Weil Blei eine sehr hohe Dichte hat (to be continued in 3.Trimester).