

Prof. Dr. Guido Drexlin, Dr. Kathrin Valerius

Vorlesungen	Di 9:45 + Do 8:00, Gerthsen-Hörsaal
Sprechstunde	Drexlin: Di 11:30-12:30, Valerius: Do 9:45-10:45
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30 (Anmeldung im Ilias)
Sprechstunde	Erhard, Schlösser: Mo 13:00-14:00
Ilias	https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_661999&client_id=produktiv

Übungsblatt 10 – Bearbeitung bis 17.07.2017

(35) Kernspaltung

Die Bethe-Weizsäcker-Formel kann durch die Berücksichtigung von Kerndeformation modifiziert werden. Hierbei wird die Kernform-Exzentrizität ϵ in die Formel für die Bindungsenergie eingebracht

$$B = \alpha A - \beta A^{2/3} \left(1 + \frac{2}{5} \epsilon^2 \right) - \gamma Z^2 A^{-1/3} \left(1 - \frac{1}{5} \epsilon^2 \right) \quad (1)$$

Die Konstanten sind $\alpha = 14 \text{ MeV}$, $\beta = 13 \text{ MeV}$, und $\gamma = 0.6 \text{ MeV}$.

- Interpretieren Sie wie die Exzentrizität, ϵ , auf die verschiedenen Terme des Modells wirkt und begründen Sie dies.
- Finden Sie eine Bedingung, die Z und A berücksichtigt mit der angegeben werden kann, ob ein Kern spontane Kernspaltung durchführt. (*Hinweis: Berechnen Sie, wie sich die Bindungsenergie mit ϵ ändert.*)
- Was bedeutet die hergeleitete Bedingung für ^{240}Pu ?
- Zeigen Sie, dass die Bedingung für ^{238}U zeigt, dass keine spontane Kernspaltung möglich ist. Experimentell kann man jedoch zeigen, dass doch $5.45 \cdot 10^{-5}\%$ der Zerfälle als spontane Kernspaltung passieren. Wieso ist das so?

Die induzierte Kernspaltung läuft in der Regel nach folgendem Muster ab:



Y_1 und Y_2 sind hierbei die Spaltprodukte und $x \cdot n$ sind $x = 2 \dots 3$ entstehende Neutronen.

Der Compoundkern X^* entsteht durch vollständige Vereinigung des Neutrons mit dem getroffenen Kern (Targetkern). Durch den Gewinn an Bindungsenergie befindet er sich in einem angeregten Zustand hoher Energie und kann einen hohen Gesamtdrehimpuls haben. Dies kann dann zur Kernspaltung führen.

Tabelle 1: Wirkungsquerschnitte für neutroneninduzierte Spaltung verschiedener Uranisotope (für thermische Neutronen)

Isotope	(barns)
^{230}U	20
^{231}U	300
^{232}U	76
^{233}U	530
^{234}U	0
^{235}U	580
^{236}U	0

In Tabelle 1 finden sie Wirkungsquerschnitte für neutroneninduzierte Spaltung verschiedener Uranisotope ($Z = 92$) für thermische Neutronen. Die Wirkungsquerschnitte für schnelle Neutronen der selben Isotope sind in der Größenordnung von wenigen barn und die gerade-ungerade Periodizität ist weniger ausgeprägt.

- (e) Wie kann man die ungerade/gerade Periodizität in den Wirkungsquerschnitten verstehen? Berechnen Sie dazu die Unterschiede in den Bindungsenergie der Targetkern / Compoundkern Paare.
- (f) Wieso sind die Querschnitte für thermische Neutronen höher als für schnelle Neutronen? Wie lassen sich die Neutronen thermalisieren?
- (g) Jede induzierte Kernspaltung wird durch ein Neutron ausgelöst (siehe Gleichung 2). In jeder Kernspaltungsreaktion werden wiederum 2-3 Neutronen produziert (siehe Gleichung 3). Was ist eine (kontrollierte bzw. unkontrollierte) Kettenreaktion?
- (h) Überlegen Sie sich, wie man eine solche Kettenreaktion steuern / beeinflussen könnte.

(36) Kernfusion in der Sonne

Sterne gewinnen Energie durch die Fusion von leichten Kernen. In der wichtigsten Reaktion wird Wasserstoff zu Helium verschmolzen.

- (a) Schreiben Sie die Einzelreaktionsschritte der pp-I Kette sowie des CNO-Zyklus aus und berechnen Sie die Energiebilanz in jedem der Schritte. Wie viel Gesamtenergie wird in beiden Zyklen frei? Nutzen Sie hierfür Tabelle 2.
- (b) Die solare Konstante $E_0 = 1367 \text{ Wm}^2$ bezeichnet die langjährig gemittelte extraterrestrische Bestrahlungsstärke, die von der Sonne auf die Erde trifft. Der mittlere Abstand von Erde zu Sonne beträgt ca. $R = 149.6 \cdot 10^9 \text{ m}$. Wie hoch ist die Sonnenleistung und wie viele Heliumatome werden pro Sekunde erzeugt?
- (c) Die Sonne hat eine Masse von $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. Die Zusammensetzung der Sonne lässt sich anhand von Abbildung 1 abschätzen. Wie ist die Anzahl von Fusionsreaktionen pro Sekunde bezogen auf die Teilchendichte in der Sonne.
- (d) Berechnen wie viele Sonnenneutrinos seit Ihrer Geburt durch Sie hindurchgeflogen sind? Finden Sie eine passende (kreative) Vergleichgröße.

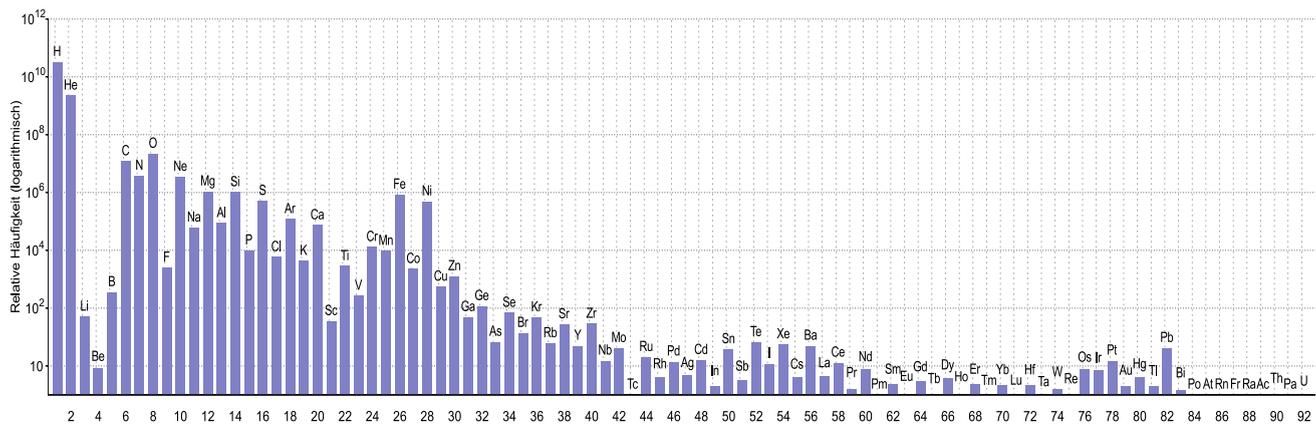


Abbildung 1: Häufigkeit der Elemente im Sonnensystem.

(37) Kernfusion auf der Erde

Die technische Kernfusion ist eine der möglichen Energiequellen der Zukunft, die anders als die Kernspaltung keine langlebigen radioaktiven Spaltprodukte erzeugen soll. Die Fusionsreaktion, die sich für die technische Kernfusion auf der Erde eignet, um in Zukunft Energie zu produzieren, ist die Fusion von Triton und Deuteron.

- Schreiben Sie die Fusionsgleichung auf und berechnen Sie die pro Reaktion freiwerdende Energie. Vergleichen Sie dies mit der Energie, die bei der Spaltung von Uran-235 frei wird (Aufgabe 30 d)). Bei welcher Reaktion wird pro Nukleon mehr Energie frei?
- Nun fügen Sie dem Fusionsgemisch noch ${}^6\text{Li}$ hinzu. Welcher weiterer Reaktionskanal ergibt sich dadurch? (*Hinweis: verwenden Sie einen Kanal, der nicht durch die Coulombbarriere beschränkt ist*) Berechnen Sie nun die gesamte freiwerdende Energie.
- Bei welcher der beiden Reaktionen (Teilaufgabe a oder b) handelt es sich um kontrollierte Kernfusion und bei welcher um eine unkontrollierte Explosion?

(38) Zusammensetzung des Sonnensystems

Betrachten Sie Abbildung 1, in der die relative Elementhäufigkeit im Sonnensystem zu sehen ist. Erklären Sie mithilfe ihres Wissens aus der Vorlesung, eines Lehrbuchs oder Internetrecherche folgende Beobachtungen.

- Warum sind Wasserstoff und Helium die häufigsten Elemente und wodurch sind sie entstanden?
- Weshalb sind Lithium, Bor und Beryllium vergleichsweise selten, obwohl sie doch teilweise in der primordialen Nukleosynthese entstanden sind?
- Warum sind keine schweren Kerne in der primordialen Nukleosynthese entstanden?
- Warum kommen Eisen und Nickel so häufig vor?
- Zeichnen Sie in die Abbildung ein welche Elemente durch primordiale Nukleosynthese, welche durch Fusion in der Sonne, welche durch Supernovas und welche ggf. auf andere Art entstanden sind.

Nukleid	Masse (amu)	Nukleid	Masse (amu)
^1_0n	1.00866	$^{10}_5\text{B}$	10.01294
^1_1H	1.00783	$^{11}_5\text{B}$	11.00931
^2_1H	2.01410	$^{12}_6\text{C}$	12.00000
^3_2He	3.01605	$^{13}_6\text{C}$	13.00335
^4_2He	4.00260	$^{13}_7\text{N}$	13.00574
^6_3Li	6.01512	$^{14}_7\text{N}$	14.00307
^7_3Li	7.01600	$^{15}_7\text{N}$	15.00011
^9_4Be	9.01218	$^{15}_8\text{O}$	15.00307

Tabelle 2: Massen einiger Kerne (1 amu = 931.5 MeV).

- (f) Man sieht, dass Elemente mit geradem Z häufiger sind als ungerade "Nachbarn". Überlegen Sie sich wieso dies so sein könnte?
- (g) Von Uran und Thorium gibt es keine stabilen Isotope. Warum findet man dennoch Uran und Thorium auf der Erde bzw. im Sonnensystem?
- (h) Blei ist als stabiles Element mit der höchsten Ordnungszahl ebenfalls häufiger zu finden. Dies ist zwar ein Vorgriff auf kommende Vorlesungen, aber welche Gründe könnte es hierfür geben?

(*) Punkteverteilung

Übungsblatt	Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
9	35	a, b, e, f	je 1
9	35	c, d, g, h	je 1/2
9	36	a	2
9	36	b, d	je 1
9	36	c	1/2
9	37	a, b, c	je 1
9	38	a-h	je 1/2