

Übungsblatt 10 – Kernphysik II, Tröpfchenmodell der Kerne

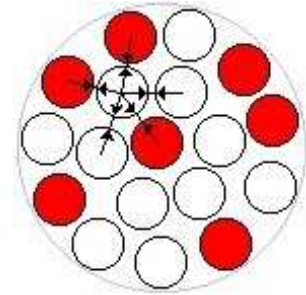
Abgabe: Fr 18.06.2010 (bis 12:00 Uhr im Briefkasten auf N3)

Besprechung: Di 22.06. 11:15 Uhr – 12:45 Uhr im Sondertermin (anstelle Vorlesung)

1. Tröpfchenmodell und von Weizsäcker-Formel (2 Punkte)

Im Tröpfchenmodell betrachtet man die Nukleonen als Moleküle eines inkompressiblen, geladenen Flüssigkeitströpfchens, das aus A Nukleonen (gegeben durch N Neutronen und Z Positronen) besteht. Die Bindungsenergie kann dabei in folgende Anteile zerlegt werden:

- Volumenanteil: $E_V = +a_V \cdot A$
- Oberflächenanteil: $E_S = -a_S \cdot A^{2/3}$
- Coulombanteil: $E_{coul} = -a_{coul} \cdot Z(Z-1)A^{-1/3}$
- Asymmetrieanteil: $E_{asym} = -a_{asym} \cdot \frac{(N-Z)^2}{4A}$



wobei $a_V=15.67 \text{ MeV}/c^2$, $a_S=17.23 \text{ MeV}/c^2$, $a_{coul}=0.71 \text{ MeV}/c^2$, $a_{asym}=93.15 \text{ MeV}/c^2$.

Der Volumenanteil erhöht die Bindungsenergie. Eine grössere Oberfläche, die Coulomb-Abstoßung zwischen den Positronen, sowie ein hoher Neutronenüberschuss reduzieren die Stabilität der Kerne. Insgesamt ergibt sich die von Weizsäcker-Formel:

$$B(Z, A) = a_V \cdot A - a_S \cdot A^{2/3} - a_{coul} \cdot Z(Z-1)A^{-1/3} - a_{asym} \cdot \frac{(Z - A/2)^2}{A}.$$

(a) Bestimmen Sie aus der von Weizsäcker-Formel die Lage der stabilen Kerne, d.h. berechnen Sie bei fester Nukleonenzahl $A = Z + N$ die Protonenzahl Z_0 , für die die Kernmasse ein Minimum annimmt. Stellen Sie die Funktion $Z_0(N)$ graphisch dar und diskutieren Sie damit Ihr Ergebnis.

(b) Stellen Sie mit Hilfe der von Weizsäcker-Formel die Bindungsenergie pro Nukleon über der Nukleonenzahl graphisch dar. Benutzen Sie folgende Vereinfachung: Für eine gerade Nukleonenzahl sei $Z = N$, für eine ungerade Nukleonenzahl sei $Z + 1 = N$. Diskutieren Sie anhand des Diagramms die Ergebnisse des Aufgabenteils (a), sowie die Möglichkeit der Energiegewinnung durch Spaltung oder Fusion.

(c) Welches stabile Nuklid besitzt einen relativen Neutronenüberschuss von 33% ($\frac{N}{Z} = \frac{4}{3}$) ?

2. Spaltung und Fusion

- (a) Berechnen Sie die Energie, die beim Spalten eines Uran ^{235}U Kernes in einen schweren Selen und einen schweren Cer Kern frei wird.
- (b) Berechnen Sie die Energie, die bei der Kernfusion von 2 Wasserstoffkernen zu einem Helium-Kern frei wird.

3. Reaktorphysik

- (a) Schätzen Sie die minimale ^{235}U Menge ab, die gespalten werden muss, um einen Kernreaktor mit 1000 MW pro Jahr kontinuierlich zu betreiben. Nehmen Sie den Energiegewinn aus Aufgabenteil 2.(a) an und gehen Sie von einer Effizienz von 33% aus.
- (b) Wie groß ist die mittlere kinetische Energie und die entsprechende De-Broglie Wellenlänge thermischer Neutronen in einem Reaktor, das heißt von Neutronen, die im thermischen Gleichgewicht mit Materie bei 25°C sind? Bei welchem Einfallswinkel tritt nach der Bragg-Bedingung das erste Interferenzmaximum auf, wenn diese Neutronen an einem NaCl-Kristall reflektiert werden?
(Netzebenenabstand NaCl: 0,282 nm; Masse des Neutrons: $1,675 \cdot 10^{-27}$ kg)
- (c) Bestrahlt man $^{30}_{14}\text{Si}$ mit thermischen Neutronen, so geht dieser in $^{31}_{14}\text{Si}$ über. Dieses Isotop ist instabil und erzeugt beim Zerfall $^{30}_{15}\text{P}$. Man spricht dabei auch von Neutronentransmutation. Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf und berechnen Sie die beim Prozess frei werdende Energie aus dem Massendefekt.
-