Kern- und Teilchenphysik
Universität zu Köln, Sommersemester 2018
Prof. Dr. Andreas Zilges
P. Scholz / F. Heim / M. Färber / M. Müscher / V. Vielmetter

Übungsblatt III

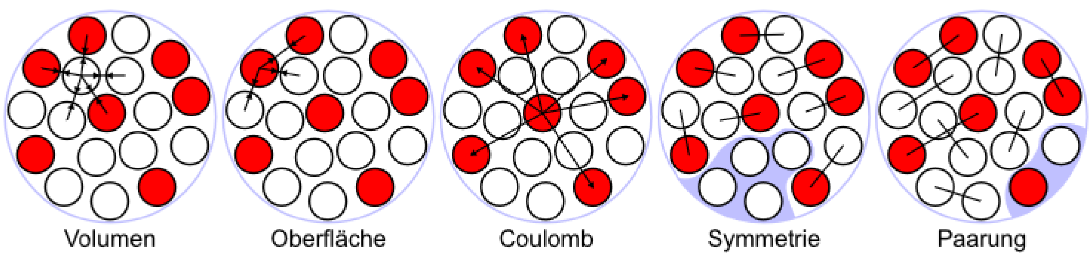
Hinweise

- Ausgabe: 25.04.2018
- Abgabe bis 02.05.2018, 13:59 Uhr, Briefkasten Institut für Kernphysik
- Besprechung: 09.05.2018

Einfache Fragen

Bitte beachten Sie die auf Ilias zur Verfügung gestellten Quizfragen zu jedem Kapitel der Vorlesung.
Diese sind prüfungsrelevant. Fragen zum Kernphysik-Quiz können innerhalb der Übungsgruppe besprochen werden.

Aufgabe I: Die einzelnen Beiträge zur Bindungsenergie



Betrachten Sie erneut die Isotope von ^{112}Sn bis zu ^{124}Sn. Berechnen Sie sowohl die Neutronen- als auch die Protonenseparationsenergien der Kerne. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit jenen aus Übung 1 Aufgabe 1. Welche Beiträge der Massenformel sind für den Verlauf der Werte entscheidend? Warum sind die Verläufe der Separationsenergien für Protonen und Neutronen unterschiedlich? *5 Pkt*

Picture by Daniel FR (CC BY-SA 3.0), via Wikimedia Commons

Aufgabe II: Die Coulomb-Abstoßung

Die halbempirische Massenformel von Bethe und Weizsäcker basiert teilweise auf recht einfachen Annahmen. In dieser Aufgabe sollen Sie die Formel für die Coulomb-Abstoßung im Kern mittels Ihrer bisherigen Experimentalphysik-Kenntnisse selber herleiten und daraus den Koeffizienten a_C berechnen.

Betrachten Sie hierfür zunächst das Coulomb-Potential einer homogen geladenen Kugel mit Radius r' am Ort r für die Abstände $r > r'$:

$$V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{4}{3}\frac{\pi r'^3 \rho}{r}\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Hierbei ist ρ die konstante Ladungsdichte. Um einer homogen geladenen Kugel eine kleine Ladung $dQ = \rho dV = 4\pi r'^2 \rho dr'$ hinzuzufügen, muss die Arbeit

$$dW = -dQ\,[V(\infty) - V(r')] = V(r')dQ$$

geleistet werden.

Die Bindungsenergie, die benötigt wird, um eine homogen geladene Kugel mit Radius R zusammenzuhalten, kann nun mit der Arbeit abgeschätzt werden, die benötigt wird um die Kugel von Grund auf aufzubauen:

$$E_C = \int_0^R dW$$

Finden Sie einen Ausdruck für die Coulomb-Energie in Abhängigkeit von $Z^2 A^{(-1/3)}$! Nutzen Sie hierbei aus, dass die konstante Ladungsdichte in einem Kern über den Zusammenhang $Ze = \frac{4\pi}{3}R^3\rho$ bestimmt und der Radius eines Kerns über dessen Massenzahl approximiert werden kann. Vergleichen Sie die Proportionalitätskonstante a_C mit der empirisch ermittelten Konstante, die in der Vorlesung angegeben wurde. *5 Pkt*

Aufgabe III: Kernmaterie und Neutronenstern

Neutronensterne sind mit die faszinierendsten Objekte im Universum. In einer sehr simplen Annahme, kann man sich Neutronensterne als Kilometer große Atomkerne vorstellen. Doch ist diese Annahme auch mit dem Tröpfchenmodell vereinbar? Überprüfen Sie es selbst!

a) Berechnen Sie die mittlere Nukleonendichte und Massendichte der Atomkerne ^{40}Ca und ^{208}Pb. Was fällt Ihnen auf? *2 Pkt*

Hinweis: Sie können den Massenunterschied zwischen Protonen und Neutronen vernachlässigen!

b) Wenn ein kugelförmiger Wassertropfen mit einem Radius $R = 1.5\,\mathrm{mm}$ die Dichte von Kernmaterie hätte, welche Masse würde er beinhalten? Welche Masse hätte eine Kugel mit Radius $R = 10\,\mathrm{km}$? Welche Massenzahl A würden Sie bei einer Kugel mit Radius $R = 10\,\mathrm{km}$ erwarten? *3 Pkt*

Hinweis: Geben Sie Massen bitte in MeV/c^2 und in kg an.

c) Nehmen Sie an die Kugel bestehe nur aus Neutronen! Berechnen Sie die einzelnen Beiträge zur Bindungsenergie aus der Bethe-Weizsäcker-Massenformel. Vergleichen Sie die Beiträge der Bindungsenergie zu der gravitativen Bindungsenergie einer gleich großen Kugel mit der Dichte von Kernmaterie! Wie groß wäre die Coulomb-Energie, wenn es statt Neutronen Protonen wären? *5 Pkt*

Hinweis: Die gravitative Bindungsenergie kann auf die gleiche Weise berechnet werden, wie die Coulomb-Energie in Aufgabe 2! Statt der Ladung und des Vorfaktors $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ würde man nur die Masse und die Gravitationskonstante G nutzen.