

Übungen zu Experimentalphysik V WS 2014/2015

Prof. Dr. Karl Jakobs, Dr. Karsten Köneke

Übungsblatt Nr. 3

Die Lösungen müssen bis 10:10 Uhr am Dienstag den 11.11.2014 in den Briefkasten 1 im Erdgeschoss des Gustav-Mie-Hauses eingeworfen werden!

Bitte geben sie die Übungsgruppennummer auf Ihren Lösungen an.

1. Formfaktoren (Übung mit Mathematica)

Diese Aufgabe soll mit Hilfe von Mathematica bearbeitet werden. Eine Universitätslizenz kann über folgenden Link bezogen werden:

<http://www.rz.uni-freiburg.de/services/beschaffung/software/mathematica>.

Bitte beachten Sie, dass die Nutzung von Mathematica über den Lizenzserver nur innerhalb des Universitätsnetzwerkes funktioniert. Bitte reichen Sie Ihre Lösungen für diese Aufgabe als Ausdruck von Mathematica ein.

Wie in der Vorlesung diskutiert, werden bei der Streuung an ausgedehnten Kernen mit vielen Nukleonen im Allgemeinen Abweichungen von der Mott-Streuung erwartet. Diese Abweichungen können durch Formfaktoren beschrieben werden. Der Formfaktor ist die Fouriertransformierte der Ladungsverteilung. Im Folgenden soll angenommen werden, dass die Ladungsverteilungen in schweren Kernen einer Fermi-Verteilung folgen:

$$\rho(r) \propto \frac{1}{1 + e^{\frac{r-R_{1/2}}{z}}}.$$

Bei $R_{1/2} = R_s - 0.89A^{(-1/3)}$ fm sinkt die Ladungsdichte auf die Hälfte ab, wobei $R_s = 1.128A^{(1/3)}$ fm ist. Die Randdicke der Verteilung ist mit $t = 2.4$ fm bzw. $z = t/4.4$ gegeben. Im Folgenden soll die Streuung von Elektronen mit $p = 420$ MeV/c betrachtet werden.

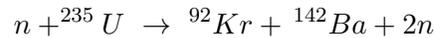
- Stellen Sie die normierte Ladungsverteilungen der Kerne von ^{12}C , ^{40}Ca und ^{197}Au graphisch dar. [1 Punkt]
- Berechnen Sie die Formfaktoren derselben Kerne und stellen Sie $|F|$ in Abhängigkeit vom Impulsübertrag q graphisch dar. [1 Punkt]
- Berechnen Sie den differentiellen Wirkungsquerschnitt der Mott-Streuung und stellen Sie diesen in Abhängigkeit vom Streuwinkel θ graphisch dar. [1 Punkt]
- Berechnen Sie die differentiellen Wirkungsquerschnitte in Abhängigkeit vom Streuwinkel θ für die Streuung an den in Aufgabe (a) genannten Kernen und stellen Sie diese graphisch dar. [1 Punkt]

2. Tröpfchenmodell

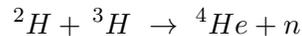
- Berechnen Sie die Bindungsenergie pro Nukleon und die Kernmasse für ^{26}Fe mit Hilfe des Tröpfchenmodells (Weizsäcker Formel aus der Vorlesung). Erklären Sie nochmal kurz die einzelnen Terme. [1 Punkt]
- Welche Bindungsenergie ergibt sich für das Deuteron? Die gemessenen Bindungsenergie für Deuteron beträgt 2.2 MeV. Wie erklären Sie die Diskrepanz? [1 Punkt]
- Leiten Sie eine Formel her, die für eine gegebene Massenzahl A angibt für welche Kernladungszahl Z ein stabiler Kern vorliegt. [1 Punkt]

3. Bindungsenergie

Zwei Arten von Kernreaktionen, die Spaltung und die Fusion, sind von besonderer praktischer Bedeutung. Bei der Spaltung von ^{235}U beispielsweise wird der Urankern durch Einfang eines Neutrons angeregt und zerfällt nachfolgend in zwei ungefähr massegleiche Bruchstücke. Eine typische Reaktion ist



Bei der Kernfusion verschmelzen zwei leichte Kerne, zum Beispiel Deuterium und Tritium, zu einem schwereren Kern. Eine typische Reaktion ist



- a) Berechnen Sie die in beiden Reaktionen freiwerdende Energie. [1 Punkt]

Tipp: Die Bindungsenergien pro Nukleon betragen für die schweren Kerne:

$$\begin{aligned}\Delta M({}^{235}\text{U}) &= -7.6 \text{ MeV}/c^2 \text{ pro Nukleon,} \\ \Delta M({}^{92}\text{Kr}) &= -8.7 \text{ MeV}/c^2 \text{ pro Nukleon,} \\ \Delta M({}^{142}\text{Ba}) &= -8.4 \text{ MeV}/c^2 \text{ pro Nukleon.}\end{aligned}$$

Die Massen der leichten Kerne in atomaren Masseneinheiten sind:

$$\begin{aligned}M({}^2\text{H}) &= 2.014102 \text{ u,} \\ M({}^3\text{H}) &= 3.016049 \text{ u,} \\ M({}^4\text{He}) &= 4.002602 \text{ u.}\end{aligned}$$

- b) Berechnen Sie hieraus die Energie in Kilowattstunden, die bei der Spaltung von 1 g ^{235}U insgesamt freigesetzt wird. Vergleichen Sie diese mit der bei der Fusion von 1 g Ausgangsstoff (Deuterium + Tritium) frei werdenden Energie. Die Masse des Urans ist $M({}^{235}\text{U}) = 235.043924 \text{ u}$.

Zum Vergleich: Der Jahresenergieverbrauch eines typischen Haushalts liegt bei etwa 18.000 kWh. [1 Punkt]

- c) Damit zwei Protonen zu einem Deuteriumkern verschmelzen können, dürfen sie nicht weiter als etwa 10^{-14} m voneinander entfernt sein, damit die Anziehungskraft des Kernpotentials größer wird als die Coulomb-Abstoßung. Wie heiß muss ein Wasserstoffplasma sein, damit ein Proton mit der mittleren kinetischen Energie die Coulomb-Barriere überwinden kann? [1 Punkt]