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

Übungsblatt II

Hinweise

- Ausgabe: 18.04.2018; Abgabe bis 25.04.2018,13:59 Uhr, Briefkasten Institut für Kernphysik; Besprechung: 02.05.2018
- Übungen können von Gruppen von bis zu 3 Personen abgegeben werden
- Jede Übung wird mit 20 Pkt. bewertet. Für die Zulassung zur Klausur benötigen sie 50% der Übungspunkte.

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: Grenzen der Rutherford-Streuung

Die Rutherford-Streuung gilt nur für Strahlenergien die unterhalb der Coloumbbarriere liegen, da sich so die Kerne nicht "berühren" können und die starke Wechselwirkung vernachlässigt werden kann.
Bei höheren Strahlenergien jedoch ist es möglich, dass der Abstand s zwischen den beiden Kernen für kleine Stoßparameter b und große Streuwinkel Θ kleiner wird als die Summe der zwei Kernradien $2a = r_1 + r_2$. In Streuexperimenten können Abweichungen von der Rutherford-Streuung ausgenutzt werden, um das starke Wechselwirkungspotential zwischen zwei Kernen zu untersuchen.

a) Betrachten Sie die Streuhyperbel in Fig. 1. Finden Sie einen Ausdruck für $s(\Theta)$ in Abhängigkeit des Streuwinkels θ und dem minimalen Abstand $2a$ im Coulombfeld. *1 Pkt*

b) Sie wiederholen das Rutherfordsche Streuexperiment an Gold mit α-Teilchen der Energie $E_\alpha = 35$ MeV. Ab welchen Streuwinkel würden Sie einen Einfluss der Kernkraft erwarten?
Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass die Kernkraft eine Rolle spielt sobald der Abstand zwischen Projektil und Targetkern kleiner gleich der Summe der Kernradien ist. *3 Pkt*

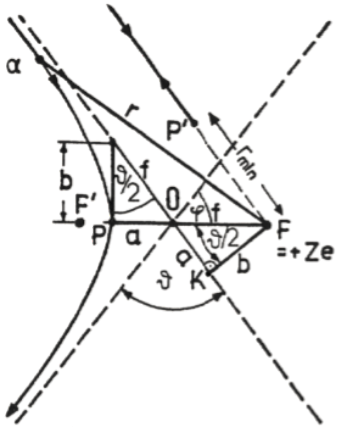

Figure 1: Hyperbelbahns eines durch Coloumbstreuung gestreuten Teilchens. Der minimale Abstand zwischen Projektil und Targetkern ist die Strecke $s = \overline{PF}$ welche bei einem Streuwinkel von $\theta = 180°$ den Wert $2a$ annimmt. *Hinweis: a* ergibt sich aus der minimalen Distanz zweier Ladungen in einem Coulombfeld.

Aufgabe II: Mott-Streuung und Formfaktor

Die Rutherford-Streuung gilt nur für spinlose Teilchen mit punktförmiger Ladungsverteilung. Die Mott-Streuung führt eine Korrektur für Teilchen mit Spin ein. In Streuexperimenten mit Elektronen lassen sich durch die Abweichungen zum differentiellen Wirkungsquerschnitt der Mott-Streuung über den Formfaktor Informationen über die Ladungsverteilung der Targetkerne ermitteln. Der Formfaktor ist hierbei eine Funktion des Impulsübertrags. In Fig. 2 sind die Ergebnisse für Streuexperimente an Kalziumisotopen (links) und an Uran (rechts) gezeigt.

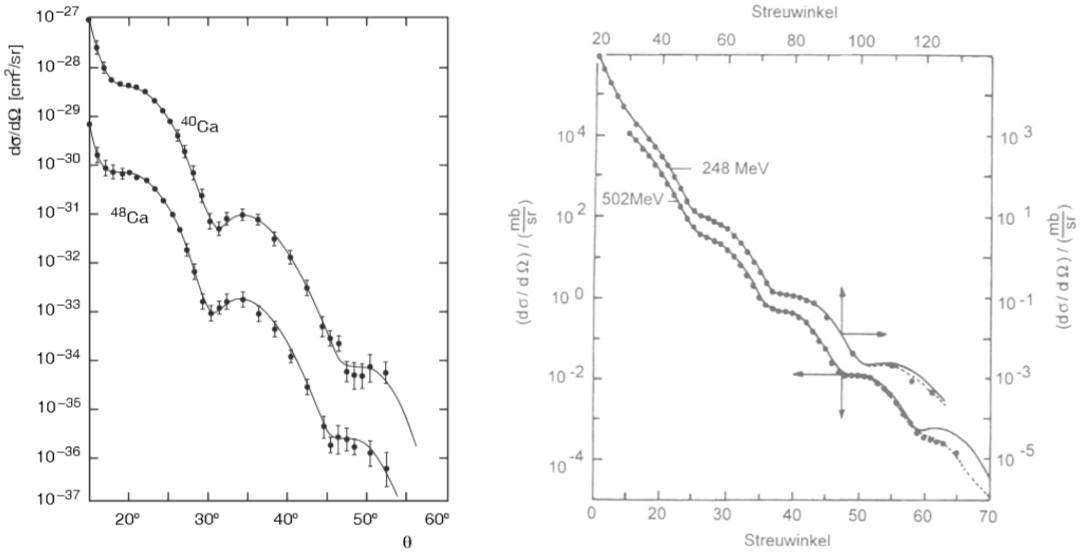

Figure 2: *Links:* Differentielle Wirkungsquerschnitte gemessen für Elektronenstreuung an den Kalziumisotopen ^{40,48}Ca. Entnommen aus B. Povh, Kerne und Teilchen, Abb. 5.7. *Rechts:* Differentielle Wirkungsquerschnitte für die Streuung von Elektronen an Uran bei zwei Energien. Entnommen aus Bethge-Kernphysik, Abb. 2.4.

a) In einem Streuexperiment mit Elektronen einer Energie von E_e-=750 MeV wurden die differentiellen Wirkungsquerschnitte für ^{40}Ca und ^{48}Ca unter Streuwinkeln von 15° bis 55° gemessen. Die experimentellen Ergebnisse sind in Fig. 2 links gezeigt. Berechnen Sie die Impulsüberträge im ersten Minimum des Formfaktors.
Erklären Sie, wieso die Minima von ^{48}Ca bei leicht kleineren Streuwinkeln liegen als jene von ^{40}Ca! *3 Pkt*

b) Auf der rechten Seite von Fig. 2 ist der differentielle Wirkungsquerschnitt für die Streuung von Elektronen an Uran bei zwei Energien gezeigt. Berechnen Sie die De-Broglie Wellenlängen der Elektronen. Bestimmen Sie die Impulsüberträge für die zweiten Minima.
Skizzieren sie die Ladungsverteilung, die Sie bei so einem differentiellen Wirkungsquerschnitt erwarten würden. *3 Pkt*

Aufgabe III: Tröpfchenmodell

Die Masse von Atomkernen ist eine wichtige Größe in der Kernphysik. Sie gibt Aufschluss über die Stabilität von Atomkernen, über die Häufigkeit der chemischen Elemente im Universum und die freiwerdende Energie in Prozessen wie der Kernspaltung. Ein erster Versuch die Masse von Atomkernen zu berechnen stellt die Massenformel von Hans-Albrecht Bethe und Carl-Friedrich von Weizsäcker dar. Sie wird in einer weiterentwickelten Form noch heute als *Finite Range Liquid Drop Model* zur Vorhersage von Kernmassen verwendet. Betrachten Sie im Folgenden eine Gruppe von Atomkernen mit fester Massenzahl A (Isobare).

a) Skizzieren Sie die Masse dieser Atomkerne in Abhängigkeit der Kernladungszahl Z für gerade bzw. ungerade Massenzahlen! Wie viele Kerne können in jedem dieser Fälle Ihrer Erwartung nach keine Bindungsenergie über die Umwandlung von einem Neutron zu einem Proton (oder umgekehrt) gewinnen?
Hinweis: Berücksichtigen Sie bei Ihrer Diskussion die Paarungsenergie für gg-, ug/gu- und uu-Kerne. *4 Pkt*

b) Berechnen Sie aus der Massenformel des Tröpfchenmodells die Ladungszahl Z_0, bei der ein Kern der Massenzahl A die geringste Kernmasse $m(Z_0, A)$ hat.
Skizzieren Sie den Verlauf in einem (Z,N)-Diagramm! *3 Pkt*

c) Bei welcher Ladungszahl Z_0 erwartet man die stabilen Isobare der Massen $A = 8$, $A = 20$ und $A = 180$? Vergleichen Sie Ihre Vorhersage mit der Nuklidkarte. *3 Pkt*