

Übungen zu Moderne Experimentalphysik III (Teilchen und Hadronen) Sommersemester 2020

Übungsblatt Nr. 1

Bearbeitung bis 04.05.2020

Für die erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (Vorleistung) benötigen Sie zum einem jeweils 50% der Punkte aus Übungsblatt 1-4 und 5-8, zum anderen wird eine aktive Teilnahme an den Übungen erwartet. Statt Vorrechnen der Übungsaufgaben an der Tafel gibt es auf jedem Übungsblatt zwei speziell gekennzeichnete (Teil-) Aufgaben, die nicht zu dem normalen Punktekontingent zählen. Jede/r Studierende muss alleine während des Semesters mindestens eine dieser Aufgaben bearbeiten. Falls Sie Interesse an der Bearbeitung einer dieser Aufgaben haben, melden Sie sich bitte bis zum regulären Abgabetermin des Übungsblatts bei Ihrem Tutor, am besten einfach im Tutorium am Donnerstag vorher. Sie erhalten dann ggf. eine Bestätigung für diese Aufgabe und können sich an die Bearbeitung machen.

Aufgabe 1: Rutherford-Streuung

(2+2+1+0=5 Punkte)

- a) Mit seinen Streuversuchen von α -Teilchen an einer Goldfolie revolutionierte Rutherford die damals geltende Vorstellung von der Beschaffenheit eines Atoms. Fassen Sie kurz die wesentlichen Beobachtungen bezüglich des Streuwinkels der α -Teilchen und die daraus resultierende Schlussfolgerung über die innere Struktur des Atoms zusammen. Gehen Sie dabei auch kurz auf die Diskrepanz der beobachteten Resultate zu den Erwartungen ein, die sich aus dem Thomson-Atommodell ("Rosinenkuchenmodell") ergeben.
- b) Ein Strahl von α -Teilchen der kinetischen Energie $E_\alpha = 27 \text{ MeV}$ und der Stromstärke 2 nA durchquert eine 2 mg/cm^2 dicke Goldfolie. In 20 cm Abstand davon, unter einem Winkel von 60° zur Strahlrichtung, befindet sich ein auf das Target gerichteter Zähler mit 4 cm^2 aktiver Fläche. Wie groß ist die Zählrate?

- c) Bei Variation der Einschussenergie beobachtet man mit dem Detektor unter dem angegebenen Streuwinkel θ von 60° für Einschussenergien $E_\alpha \geq 27$ MeV eine Abweichung von der Rutherford-Streufornel. Der klassisch aus Energie- und Drehimpulserhaltung berechnete minimale Abstand zwischen α -Teilchen und Kern $r_{\min}(\theta)$ ist:

$$r_{\min}(\theta) = \frac{zZe^2}{8\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{E_\alpha} \cdot \left[1 + \frac{1}{\sin \theta/2} \right] \quad (1)$$

mit der Ladungszahl der α -Teilchen z , der Ladungszahl von Gold Z , der Elementarladung e und der Vakuumpermittivität ϵ_0 . Verwenden Sie diese Formel um den minimalen Abstand r_{\min} und daraus den Radiusparameter r_0 ($R = r_0 \cdot A^{1/3}$) und den Kernradius R unter Berücksichtigung des Ausdehnung von Target und Projektil zu berechnen.

- d) **Nur für aktiven Beitrag:** Erstellen Sie einen kleinen Vortrag (ca. 10 Minuten) zum Rutherford'schen Atommodell. Gehen Sie dabei nicht nur auf die Aspekte von Teilaufgabe a) ein, sondern behandeln Sie auch die Probleme des Modells und deren Lösung.

Aufgabe 2: Formfaktor

(2+2+1+1+1=7 Punkte)

- a) Zeigen Sie, dass der Formfaktor für eine kugelsymmetrische Ladungsverteilung $\rho(\vec{r}) = \rho(r = |\vec{r}|)$ durch

$$F(\vec{q}) = F(q) = 4\pi \int_0^\infty \rho(r) \frac{\sin(qr/\hbar)}{qr/\hbar} r^2 dr$$

gegeben ist. Dabei sei ρ auf 1 normiert: $\int \rho(\vec{r}) d^3r = 1$.

- b) Ein Kern kann in erster Näherung als homogen geladene Kugel mit Radius R betrachtet werden. Zeigen Sie, dass unter dieser Annahme für $F(q)$ gilt:

$$F(q) = \frac{3}{x^3} \cdot (\sin x - x \cos x) \quad \text{mit} \quad x = \frac{qR}{\hbar}$$

- c) Berechnen Sie $F(q = 0)$
- d) Ermitteln Sie (graphisch oder numerisch) die ersten drei positiven Nullstellen von $F(q)$.
- e) In Abbildung 1 ist der gemessene Wirkungsquerschnitt für die Streuung von Elektronen mit einer Energie von $E = 750$ MeV an ^{40}Ca und ^{48}Ca in Abhängigkeit vom Streuwinkel aufgetragen. Welchen Streuwinkeln entsprechen die im vorigen Aufgabenteil ermittelten Nullstellen? Bestimmen Sie daraus den Kernradius R der beiden Isotope.

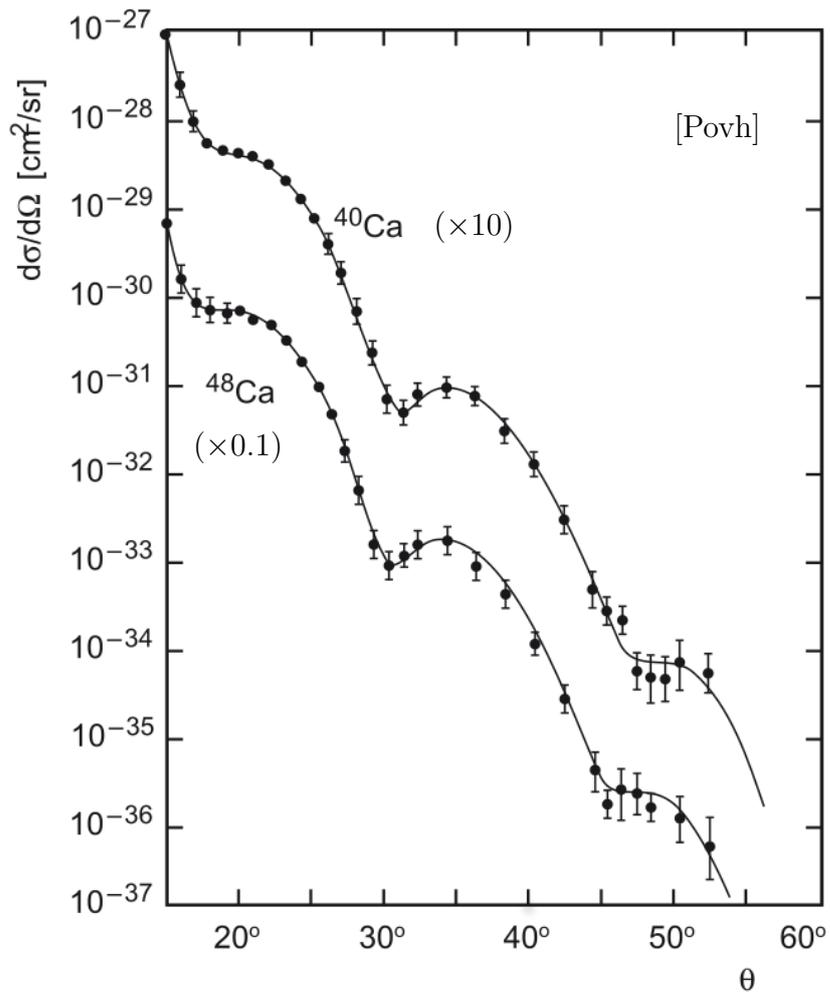


Abbildung 1: Differentieller Wirkungsquerschnitt in Abhängigkeit des Streuwinkels für die Streuung von Elektronen an zwei verschiedenen Kalzium-Isotopen.

Aufgabe 3: Radius des Protons

(2+2+2+2+0=8 Punkte)

In der Vorlesung haben Sie gelernt, dass sich der Ladungsradius des Protons mithilfe der Formfaktoren aus der Rosenbluth-Formel bestimmen lässt. Diese Methode zur Bestimmung des Protonenradius hat im Laufe der Zeit immer präzisere Ergebnisse mit steigender Messgenauigkeit geliefert. Diese Ergebnisse wurden darüber hinaus von einer anderen Methode zur Bestimmung des Radius bestätigt. Der kombinierte Messwert für den Radius ist (aus PDG 2019):

$$R_p = 0,8751 \pm 0,0061 \text{ fm}$$

Im Jahr 2010 wurde erstmals das Ergebnis einer dritten Methode veröffentlicht, welche inzwischen noch präzisere Ergebnisse liefert (ebenfalls PDG 2019):

$$R_p = 0,84087 \pm 0,00039 \text{ fm}$$

Diese neue Methode liefert also einen um etwa 5% geringeren Wert als die bisherigen Messungen, jedoch sind beide Messungen im Rahmen ihrer jeweiligen Unsicherheiten nicht miteinander kompatibel. Aufgrund der geringen Unsicherheit jeder Einzelmessung kann eine statistische Fluktuation ausgeschlossen werden. Machen Sie sich mit der Problematik dieses Widerspruches vertraut, lesen Sie dazu diesen kurzen Forschungsartikel: <https://arxiv.org/abs/1706.00696>.

- a) Mit welchen Methoden lässt sich der Protonenradius bestimmen?
- b) Welche Vor- und Nachteile haben diese Methoden?
- c) Angenommen, in den verschiedenen Experimenten wurden alle Unsicherheiten und systematischen Effekte korrekt berücksichtigt, wie kann die Diskrepanz noch erklärt werden?
- d) Suchen Sie durch eigene Recherche aktuellere Messungen (ab 2018) zum Protonenradius. Welche Schlüsse ziehen Sie daraus?
- e) **Nur für aktiven Beitrag:** Bereiten Sie ihre Antworten in einem kurzen Vortrag (ca. 10 Minuten) auf und präsentieren Sie diesen in Ihrem Tutorium.