

Versuch V16: Rutherford Streuexperiment

1 Ziel

In diesem Versuch soll die Streuung von α -Teilchen an einer Goldfolie untersucht werden.

2 Stichworte

Aktivität, Bethe-Bloch-Formel, Born'sche Näherung, Coulomb-Potential, differentieller Wirkungsquerschnitt, Drehschieberpumpe, Mehrfachstreuung, Multi-Channel-Analyzer, Rutherford Streuformel, Strahlenschutz, Surface-Barrier Detektor, Stoßparameter, totaler Wirkungsquerschnitt

3 Theoretische Grundlagen

Bei der Wechselwirkung von α -Teilchen mit Materie treten überwiegend zwei Effekte auf. Zum Einen können die α -Teilchen mit den Hüllenelektronen wechselwirken und dabei Energie abgeben. Die Flugrichtung ändert sich in diesem Fall kaum. Der Energieverlust dE/dx eines α -Teilchens beim Durchgang durch eine Folie wird durch die Bethe-Bloch-Gleichung

$$-\frac{dE}{dx} = -\frac{4\pi e^4 z^2 N Z}{m_0 v^2 (4\pi\epsilon_0)^2} \ln \frac{2m_0 v^2}{I} \quad (1)$$

beschrieben. Dabei ist N die Anzahl der Atome pro cm^3 , Z die Kernladungszahl, v die Geschwindigkeit des Ions, I die mittlere Ionisationsenergie und m_0 die Ruheenergie des Elektrons. Beim Durchgang von α -Teilchen durch Materie kann auch eine Streuung am Kern stattfinden durch die eine Richtungsänderung hervorgerufen wird. Diese Streuung läßt sich durch die Rutherfordsche Streuformel beschreiben. Sie gibt den differentiellen Wirkungsquerschnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\Theta)$ an, bei dem ein α -Teilchen der Kernladung z an einem schweren Teilchen der Kernladung Z gestreut wird (mit E_α die mittlere kinetische Energie des α -Teilchens in MeV).

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\Theta) = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \left(\frac{z Z e^2}{4 E_\alpha} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \quad (2)$$

θ ist der Winkel zwischen einfallendem und gestreutem α -Teilchen.

4 Vorbereitung

- Geben Sie das Termschema von ^{241}Am an.

- Welche Annahmen werden bei den Herleitungen der Bethe-Bloch-Gleichung und der Rutherfordschen Streuformel gemacht?
- Berechnen Sie mit der Bethe-Bloch Formel das Bremsvermögen der α -Teilchen in Luft. Bei welchem Kammerdruck machen sich Energieverluste bemerkbar?

5 Aufgaben

- Wie groß ist die Aktivität der ^{241}Am -Probe zum Zeitpunkt des Experiments.
- Bestimmen Sie die verwendeten Foliendicken jeweils durch eine Energieverlustmessung.
- Bestimmen Sie den differentiellen Streuquerschnitt für eine dünne Goldfolie (mit Herleitung des Streuquerschnitts) und zeigen Sie an einer Ag-, Au-, Pt und Al-Folie, daß für große Streuwinkel eine Z-Abhängigkeit besteht.
- Zeigen Sie, daß bei einer dicken Folie Mehrfachstreuung auftritt.

6 Versuchsaufbau

Als Quelle dient ein ^{241}Am -Präperat. Mit zwei 2 mm Schlitzblenden werden die α -Teilchen kollimiert und an einer dünnen Gold-Folie gestreut. Ein Surface-Barrier Detektor detektiert die gestreuten α -Teilchen in Abhängigkeit vom Streuwinkel Θ . Da α -Strahlen in Luft eine Reichweite von ca. 10 cm haben, befindet sich der Aufbau in einer Vakuumapparatur. Die vom Detektor vorverstärkten negativen Impulse werden von einem Amplifier nachverstärkt. Für die Energieverlustmessung steht ein Speicheroszilloskop und für die Bestimmung des Streuquerschnittes ein Zähler zur Verfügung.



Folien auf keinen Fall berühren!
Streukammer sehr vorsichtig abpumpen und belüften,
sonst wird die Folie zerstört!

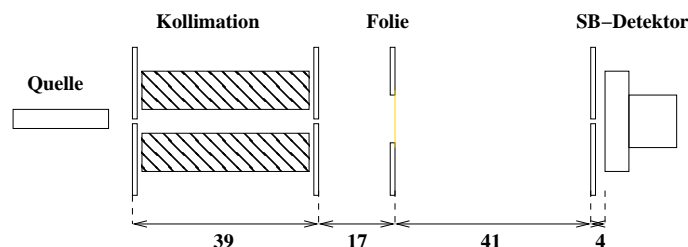


Abbildung 1: Abmessungen des Streuversuches.

7 Durchführung und Auswertung

Bitte vor dem Experimentieren die Strahlenschutzanweisungen lesen und alle angegebenen Sicherheitshinweise beachten!



Der Strahler wird vom Betreuer eingebaut!
Bei jedem Folienwechsel müssen Sie einen Schutter vor den Strahler stellen!



- Zum Evakuieren der Streukammer steht Ihnen eine Drehschieberpumpe zur Verfügung. Vergewissern Sie sich, daß alle Ventile geschlossen sind und evakuieren Sie die Kammer. Zum Belüften bzw. Ändern des Kammerdruckes müssen Sie das Feindosierventil an der Vakuumkammer langsam öffnen. Bitte beachten Sie, daß das Feindosierventil sich erst nach ca. 10 Umdrehungen öffnet!!!! Bitte nicht anknallen, sonst schließt das Ventil nicht mehr.
- Stellen Sie die Sperrspannung des Surface-Barrier Detektors auf $U_{Det} = +12V$ ein und beobachten Sie dabei die vorverstärkten Pulse auf dem Oszilloskop. Wie sehen die Pulse aus und welche Anstiegszeiten haben die Pulse? Dokumentieren Sie nach jeder elektronischen Komponente, wie sich die Pulse verändern.
- Bestimmen Sie die Foliendicke durch eine Energieverlustmessung der α -Teilchen bei senkrechtem Durchgang durch die Streufolie. Messen Sie hierzu die Pulshöhe der Detektorpulse als Funktion des Kammerdruckes einmal mit und einmal ohne Folie. Bestimmen Sie durch Extrapolation die Reichweite der α -Teilchen und bestimmen Sie hieraus die Foliendicke. Hinweis: Es empfiehlt sich beim Oszillation das 'Nachleuchten' einzustellen, um so die mittlere Pulshöhe zu ermitteln.
- Untersuchen Sie den differentiellen Streuquerschnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\Theta)$ für eine dünne Goldfolie. Messen Sie hierzu die Zählrate I in Abhängigkeit vom Streuwinkel und stellen Sie den differentiellen Wirkungsquerschnitt als Funktion des Streuwinkels graphisch dar. Berechnen Sie den Raumwinkel mit Hilfe der in Abb. 1 gezeigten Geometrie. Vergleichen Sie die gemessenen Werte mit den theoretisch berechneten. Warum eignet sich Gold als Streuer. Diskutieren Sie evtl. Abweichungen bei kleinen und großen Winkeln.
- Um den Einfluß von Mehrfachstreuung zu untersuchen, messen Sie den Streuquerschnitt für verschiedene Foliendicken. Wählen Sie hierzu einen festen Winkel.
- Messen Sie die Z-Abhängigkeit an einer Silber, Platin, Aluminium und Gold Folie und diskutieren Sie das Ergebnis. Messen Sie hierzu die Intensität I_α der α -Teilchen bei einem großen Streuwinkel und tragen Sie $I_\alpha/(N \cdot x)$ mit N als Anzahl der Streuzentren und x als Foliendicke der Streufolie gegen die Kernladungszahl Z

auf. Welche Abhängigkeit besteht? Vergleichen Sie die gemessenen Daten mit den berechneten.

Literatur

- [1] W.R. Leo, Techniques for Nuclear and particle physics experiments, Springer Verlag.
- [2] Nuclear Data Tables, Vol. **A7**, p. 257 (1970).
- [3] A.C. Messilinos, Experiments in Modern Physics, Academic Press, New York.
- [4] Cottingham and Greenwood,.....

8 Anhang

Quelle: ^{241}Am mit $A = 330 \text{ kBq}$ (Oktober 1994)

Detektor: SB-Detektor mit $\varnothing = 1 \text{ cm}$ Aktive Fläche

Blenden: $F=2 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$