

V16

Rutherford-Streuung

Nicole Schulte
nicole.schulte@udo.edu

Hendrik Bökenkamp
hendrik.boekenkamp@udo.edu

Durchführung: 10.01.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
2.1	Alphastrahlung	3
2.1.1	Wechselwirkung mit Materie	3
2.2	Die Rutherford-Streuung	3
2.2.1	Konsequenzen des Streuversuches	4
2.3	²⁴¹ Americium als Alphastrahler	4
3	Durchführung	4
4	Auswertung	5
4.1	Vorverstärkte Pulse auf dem Pszilloskop	5
4.2	Bestimmung der Goldfoliendicke	7
4.3	Bestimmung des differentiellen Wirkungsquerschnitts	10
4.4	Untersuchung des Einflusses der Mehrfachstreuung	10
4.5	Messung der Z-Abhängigkeit an einer	10
5	Diskussion	10
	Literatur	10

1 Ziel

Ziel des Versuches ist die Untersuchung des Rutherford'schen Streuexperimentes, also die Streuung von Alpha-Teilchen an einer Goldfolie.

2 Theorie

2.1 Alphastrahlung

Der Begriff der Strahlung wird in Teilchen- und Wellenstrahlung unterteilt. Dabei wird die Alphastrahlung der Teilchenstrahlung zugeordnet, da der zerfallende Kern ein Helium-4-Atomkern absondert. Dieser Prozess ist durch den quantenmechanischen Tunneleffekt zu erklären. Alphateilchen sind positiv geladen und verfügen über eine schwere Masse, die die Abschirmung vereinfacht. [1]

2.1.1 Wechselwirkung mit Materie

Durchläuft ein Alphateilchen eine Materieschicht so erfährt es durch Wechselwirkung mit den Hüllenelektronen der Atome einen Energieverlust. Dieser Energieverlust kommt durch Ionisation oder Anregung auf Grund von inelastischen Stößen zustande. Die Flugrichtung der Alphateilchen erfährt dadurch keine Änderung. Die Bethe-Bloch Gleichung (1) beschreibt dabei den Energieverlust pro Wegstrecke des Alphateilchens.

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

Die verwendeten Parameter sind die Teilchendichte n , die Kernladungszahl Z , die Geschwindigkeit v des Ions, die mittlere Ionisationsenergie I und die Ruhemasse eines Elektrons m_0 . Gleichung (1) ist eine genäherte Version der Bethe-Bloch-Gleichung und gilt für sehr kleine Teilchengeschwindigkeiten. Sie kann unter einigen Annahmen aufgestellt werden. Eine davon lautet, dass ein geladenes, schweres Teilchen an einem Elektron des Absorbermaterials in einem Abstand vorbei laufen muss. Das Elektron ist dabei frei und bewegt sich kaum während der Wechselwirkung mit dem Teilchen. Weiterhin gilt, dass die Masse des Teilchens sehr viel größer als die Masse eines Elektrons sein muss.

Eine weitere Wechselwirkung mit der Materie ist die durch Rutherford beschriebene Streuung, die Hauptbestandteil dieses Experiments sein soll.

2.2 Die Rutherford-Streuung

Das Rutherford'sche Streuexperiment beschreibt die Ablenkung eines Alphateilchens an Goldfolie. Diese Ablenkung kann zu einem durch einen elastischen Stoß mit dem Kern des Absorbermaterials als auch durch das Coulombpotential von diesem entstehen. Die Rutherford'sche Streuformel(2) beschreibt diese Streuung.

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

Der differentielle Wirkungsquerschnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\Theta)$ beschreibt den Winkel des gestreuten Teilchens pro Raumwinkelement. Neben den bei der Bethe-Bloch-Gleichung genannten Parametern

wird hier zwischen der Kernladung z des Alphateilchens und der Kernladung Z des Atoms unterschieden. Weitere Parameter sind die mittlere kinetische Energie E_α des Alphateilchens in MeV und der Winkel Θ zwischen einfallendem und gestreutem Alphateilchen.

2.2.1 Konsequenzen des Streuversuches

Die Entdeckung der Rutherford-Streuung hat große Auswirkung auf das damalige Verständnis des Atommodells. Das damalige Modell, das Thomsonsche Atommodell oder auch Rosinenkuchenmodell genannt, besagte, dass die Elektronen in einem positiv geladenen Atom eingebettet sind. Aus dem Rutherfordschen Streuexperiment lässt sich jedoch die Schlussfolgerung ziehen, dass ein Atom einen positiven Kern besitzt, auf dem sich fast die komplette Masse des Atoms konzentriert. Der Kernradius muss zudem klein im Vergleich zum Atomradius sein. Somit wurde auf Grund der Entdeckung von Rutherford ein neues Atommodell aufgestellt.

2.3 241-Americium als Alphastrahler

Der in diesem Versuch verwendete Alphastrahler ist 241-Americium. Er hat eine Halbwertszeit von 432 a und eine Kernladungszahl von 95. Das Tochternuklid ist 237-Neptunium. Es gibt fünf verschiedene Möglichkeiten, wie 241-Americium in sein Tochternuklid zerfallen kann [1].

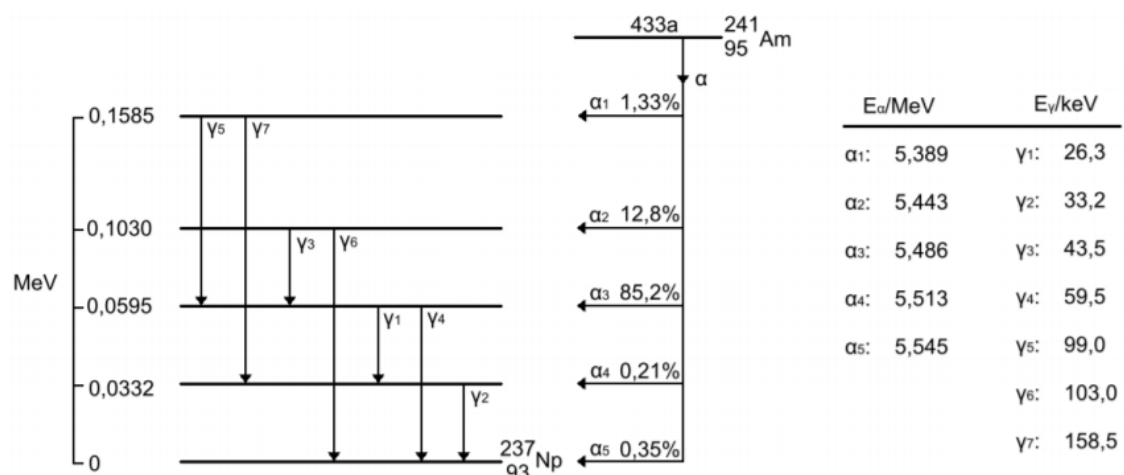


Abbildung 1: Zerfallsmöglichkeiten von 241-Am [1].

Es ist zu erkennen, dass α_3 der Wahrscheinlichste Zerfall ist. Der Zerfall von Neptunium ist in diesem Fall nicht mehr relevant, da dessen Halbwertszeit sehr groß im Vergleich zu Americium ist.

3 Durchführung

In diesem Versuch werden drei Messungen durchgeführt. Zu Beginn wird mit Hilfe eines Oszilloskops eine Energieverlustmessung beim senkrechten Durchgang durch die Folie durchgeführt. Dafür werden zwei Messungen benötigt. Dazu werden die Pulshöhen der Detektorimpulse, die vorher mit Hilfe eines Amplifiers verstärkt werden, als Funktion des Kammerdrucks einmal

mit und einmal ohne Streufolie gemessen. Zum Evakuieren der Streukammer wird eine Drehschieberpumpe verwendet. Dadurch kann die Reichweite der Alphateilchen und die Foliendicke bestimmt werden. Für eine genauere Messung wird am Oszilloskop das Nachleuten der Signale eingestellt.

Der zweite Teil des Versuches ist eine Streuwinkelmessung. Dazu wird bei evakuiertem Behälter der Winkel des Detektors von 0 bis 20° geändert und die Zählrate gemessen. Dadurch kann der differentielle Wirkungsquerschnitt berechnet werden.

Im letzten Teil des Experimentes werden Folien aus anderen Materialien und eine weitere Goldfolie ausgemessen. Diese Messung finden bei einem festen Winkel statt. Bei einem großen Winkel werden die anderen beiden Materialien ausgemessen und die Zählrate aufgenommen. Bei der zweiten Goldfolie wird ein kleinerer Winkel gewählt und auch die Zählrate aufgenommen. Indem die beiden Goldfolien miteinander verglichen werden, kann der Einfluss der Mehrfachstreuung ermittelt werden. Der Vergleich mit den anderen Materialien liefert Informationen über die Ordnungszahlabhängigkeit der Rutherford Streuung.

4 Auswertung

4.1 Vorverstärkte Pulse auf dem Oszilloskop

Die Pulse des Surface-Barrier Detektors werden vorverstärkt und einmal mit und einmal ohne Amplifier auf dem Oszilloskop dargestellt. In den Abbildungen 2 und 3 werden die Pulse gegen die Zeit aufgetragen.

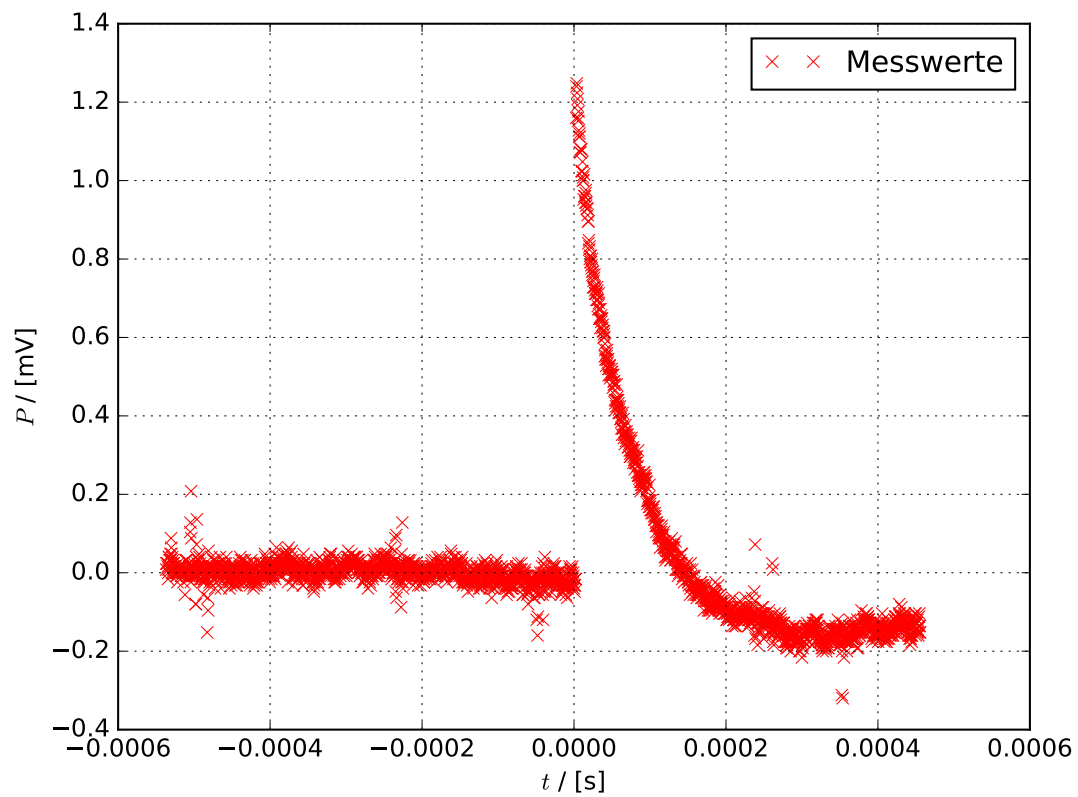


Abbildung 2: Pulse in Abhängigkeit von der Zeit ohne angeschlossenen Amplifier.

Ohne angeschlossenen Amplifier schwankt der Wert vor dem Puls um 0 V. Danach steigt der Puls mit einer Anstiegszeit von $0 \mu s$ auf ca. 1,25 mV. Mit einem "Überschwinger" pendelt sich der Wert wieder auf ca. 0 V ein.

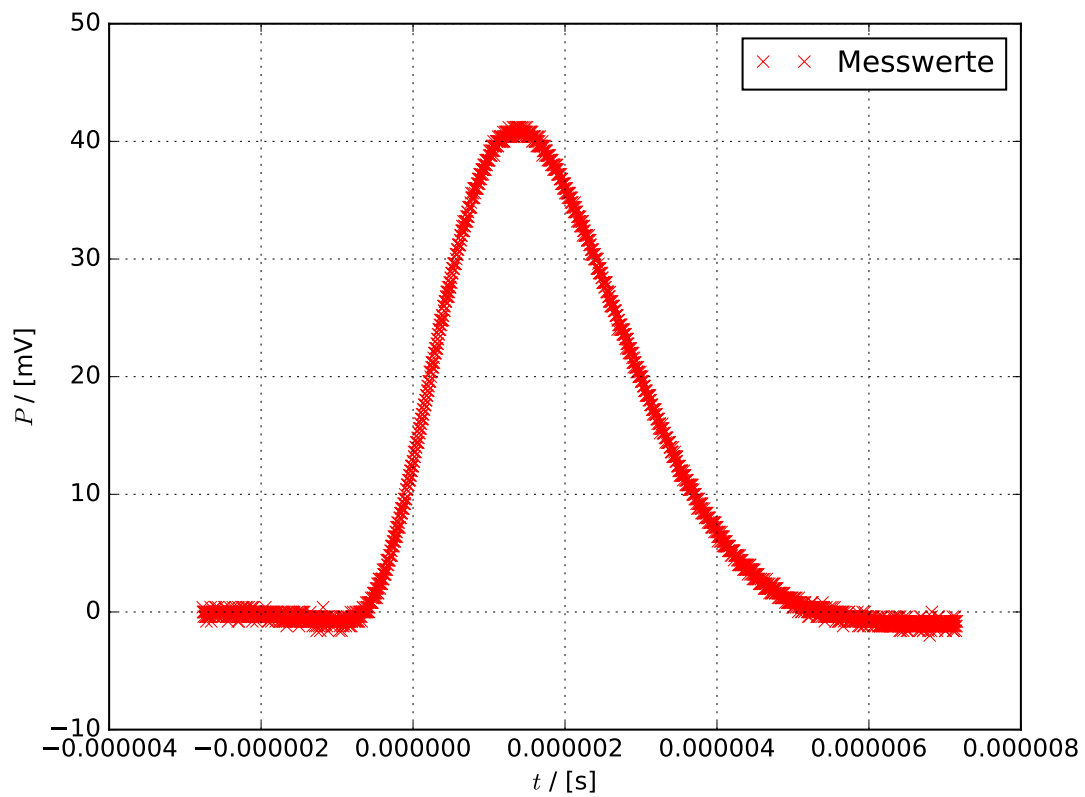


Abbildung 3: Pulse in Abhängigkeit von der Zeit mit angeschlossenem Amplifier.

Die Anstiegszeit mit angeschlossenem Amplifier beträgt ca. $8\mu\text{s}$. Der Puls steigt von 0 mV auf ca. 41 mV und fällt wieder auf seinen Ursprungswert ab.

4.2 Bestimmung der Goldfoliendicke

In Tabelle 1 sind die Messwerte für die Pulshöhen des Detektors in Abhängigkeit vom Kammerdruck zu entnehmen.

Mit Goldfolie		Ohne Goldfolie	
Pulshöhe [V]	Druck [mbar]	Pulshöhe [V]	Druck [mbar]
1.020	0.025	1.310	0.075
0.936	0.639	1.260	0.290
0.896	7.900	1.210	51.20
0.832	18.30	1.140	84.90
0.752	38.00	1.050	110.5
0.632	61.10	0.928	126.6
0.512	109.1	0.856	141.6
0.680	95.70	0.728	157.5
0.800	75.60	0.672	174.6
0.840	57.20	0.904	136.9
0.984	45.00	1.010	116.0
1.000	21.50	1.120	93.30
1.090	1.500	1.180	74.00

Tabelle 1: Puls in Abhängigkeit vom Kammerdruck.

In Abbildung 4 sind die Pulse in Abhängigkeit vom Kammerdruck aufgetragen. Außerdem wird eine Ausgleichsrechnung der Form $y = ax + b$ durchgeführt.

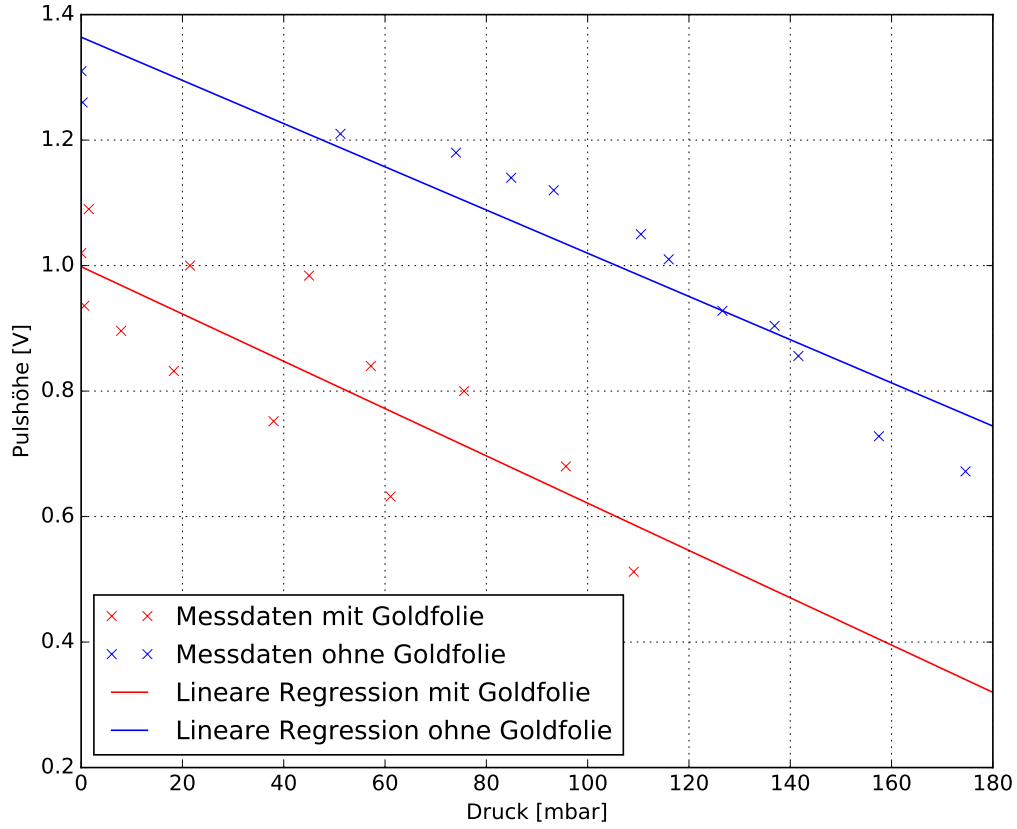


Abbildung 4: Pulse in Abhängigkeit vom Druck mit und ohne Goldfolie und lineare Regression beider Messreihen.

Für die Parameter folgt

$$\begin{aligned}
 a_1 &= (-0,0038 \pm 0,0008) \frac{\text{V}}{\text{mbar}}, \\
 b_1 &= (1,00 \pm 0,04) \text{ V}, \\
 a_2 &= (0,0034 \pm 0,0004) \frac{\text{V}}{\text{mbar}}, \\
 b_2 &= (1,36 \pm 0,04) \text{ V}.
 \end{aligned}$$

Der y -Achsenabschnitt b_2 der Messreihe ohne Goldfolie gibt an, wie hoch die Energie eines Alphateilchens im Vakuum ist. Der Abbildung 1 kann entnommen werden, dass die mittlere kinetische Energie des α -Teilchens $E_\alpha = 5,48 \text{ MeV}$ beträgt. Somit entspricht die Pulshöhe der mittleren kinetischen Energie des α -Teilchens:

$$b_2 = 1,36 \propto E_\alpha = 5,48 \text{ MeV}. \quad (3)$$

Mit diesem Wissen kann der Energieverlust berechnet werden. Der Pulsverlust ist gegeben durch

$$\Delta P = b_2 - b_1. \quad (4)$$

Der Fehler beträgt unter Berücksichtigung der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta(\Delta P) = \sqrt{(1 - b_1)^2 \cdot (\Delta b_2)^2 + (b_2 - 1)^2 \cdot (\Delta b_1)^2}. \quad (5)$$

Somit ist ergibt sich

$$\Delta P \pm \Delta(\Delta P) = (0,36 \pm 0,06) \text{ V}$$

Durch den proportionalen Zusammenhang (3) ergibt sich aus dem Pulsverlust der Energieverlust

$$\Delta E = \frac{E_\alpha}{b_2} \cdot \Delta P = (1,45 \pm 0,25) \text{ MeV}.$$

4.3 Bestimmung des differentiellen Wirkungsquerschnitts

4.4 Untersuchung des Einflusses der Mehrfachstreuung

4.5 Messung der Z-Abhängigkeit an einer

5 Diskussion

Literatur

- (1) K. Burchard, T. Götzke, O. Nagel, T. Papke, J. Petereid und M. Quade, *Kernpraktikum 2010, Energie und Reichweite von Strahlung*, http://www.uni-potsdam.de/u/phys_gprakt/html/projekte/kernstrahlung/kernstrahlung_20.pdf (besucht am 2018-01-10).
- (2) T. Dortmund, *Versuch V16: Rutherford Streuexperiment*, <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/FP/SKRIPT/Rutherford.pdf> (besucht am 2017-12-29).
- (3) C. Thiel, *Wechselwirkung von Strahlung mit Materie*, <http://www.physik.uni-mainz.de/F-Praktikum/SS2010/ChristopherThiel.pdf> (besucht am 2018-01-10).