

V16

Rutherford Streuung

Polina Stecher
polina.stecher@tu-dortmund.de

Ramona-Gabriela Kallo
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 12.12.18

Abgabe: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung und Motivation	3
2 Theorie	3
2.1 Bethe-Bloch-Gleichung	3
2.2 Rutherford Streuformel	3
3 Versuchsaufbau und Durchführung	4
4 Auswertung	5
4.1 Vorbereitungsaufgabe	5
4.1.1 Termschema des Americium-Präparates	5
4.1.2 Annahmen zur Herleitung der Bethe-Bloch-Gleichung und der Rutherfordschen Streuformel	5
4.1.3 Bestimmung des Bremsvermögens in Luft für die Alpha-Teilchen .	6
5 Diskussion	6
Literatur	6

1 Zielsetzung und Motivation

Das Ziel dieses Versuchs ist es die Streuung von α -Teilchen an einer Goldfolie zu bestimmen. Dafür wird der differentielle Wirkungsquerschnitt der Streuung an einer dünnen Goldfolie und die Abhängigkeit der Kernladungszahl Z des Targetmaterials untersucht. Am Ende soll mittels einer Energieverlustmessung der α -Teilchen auch die Foliendicke bestimmt werden.

2 Theorie

Bei der Wechselwirkung von positiv geladenen α -Teilchen durch Materie kann es zu zwei Effekten kommen. Zum einen können die α -Teilchen mit dem Kern wechselwirken und werden dabei gestreut und zum anderen können sie mit den negativ geladenen Hüllenelektronen wechselwirken. Dabei verlieren sie Energie und werden langsamer.

2.1 Bethe-Bloch-Gleichung

Bei der Wechselwirkung der α -Teilchen mit dem Hüllenelektronen kommt es durch Ionisation oder Anregung der Atome oder Moleküle der durchstrahlten Materie zur Energieabgabe. Der Energieverlust pro Wegstrecke eines α -Teilchens beim Durchqueren von Materie wird mittels Bethe-Bloch-Gleichung beschrieben:

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

wobei N die Atomdichte, m_0 die Ruhemasse eines Elektrons, z die Ladungszahl des α -Teilchens, Z die Kernladungszahl des Targetmaterials, I die mittlere Ionisationsenergie, v die Geschwindigkeit des Ions und E die Energie des Teilchens sind.

2.2 Rutherford Streuformel

Bei der Streuung der α -Teilchen am Kern, erfahren sie durch die Coulombabstoßung eine Richtungsänderung um den Streuwinkel Θ . Dieser Typ von Wechselwirkung lässt sich mit der Rutherfordschen Streuformel beschreiben:

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

wobei E_α die mittlere kinetische Energie der α -Teilchen und Θ den Winkel zwischen einfallendem und gestreutem α -Teilchen beschreibt. Der differentielle Wirkungsquerschnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ gibt mit welcher Wahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Teilchen an, in dem Raumwinkel $d\Omega$ gestreut zu werden.

3 Versuchsaufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau wird schematisch in der Abbildung 1 dargestellt. Da die α -Teilchen eine geringe Reichweite (10 cm) in Luft haben, wird der Versuch in Vakuum durchgeführt, um die Wechselwirkung mit den Stoßpartnern (Luftmolekülen), an die die α -Teilchen ihre kinetische Energie sukzessive abgeben, zu verhindern. Als Quelle dient ein ^{241}Am -Präparat, das mit einer Halbwertszeit von 420 Jahren zu Neptunium zerfällt. Die α -Teilchen haben eine Energie von 5,486 MeV.

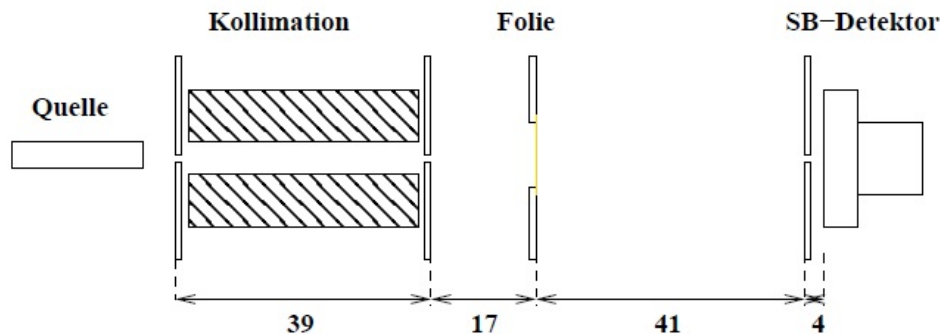


Abbildung 1: Zu sehen ist der schematische Aufbau des Versuches. Der Abstand zwischen den einzelnen Bauteilen der Messapparatur werden in Millimeter angegeben [7, S. 2].

Die Strahlen aus der Quelle werden mithilfe von zwei 2 mm Schlitzblenden kollimiert und werden durch die Blenden gebündelt. Der Strahl trifft anschließend senkrecht auf die Goldfolie, wo dann die Wechselwirkung mit Materie stattfindet. Die gestreuten α -Teilchen werden in Abhängigkeit des Streuwinkels von einem Halbleiter-Detektor, also einem Surface-Barrier-Detektor detektiert. Bei diesem Detektor handelt es sich um eine in Sperrrichtung betriebene Diode, in der die einfallenden α -Teilchen Elektronen-Loch-Paare erzeugen, die zur Elektrode beschleunigt werden. Der aufgenommene Impuls wird durch einen Multiplier verstärkt und ist proportional zur Energie des Teilchens. Außerdem sind ein Oszilloskop für die Energieverlustmessung und ein Zähler für die Streuquerschnittmessung vorhanden.

Zuerst wird die Streukammer mit einer Vakuumpumpe evakuiert. Die Sperrspannung des Surface-Barrier-Detektors wird auf 12 V eingestellt. Der Detektor wird justiert, um einen geraden Durchtritt der α -Teilchen zu gewährleisten. Anschließend wird eine Energieverlustmessung der Foliendicke durchgeführt. Dazu wird die Pulshöhe der Detektorpulse in Abhängigkeit von verschiedenen Kammerdrücken gemessen. Dieser Messvorgang wird zunächst mit und anschließend ohne eingesetzter Folie durchgeführt. Mithilfe von einem Feindrosselventil wird der Kammerdruck langsam erhöht. Zur Ermittlung der mittleren Pulshöhe wird das Oszilloskop in das Programm "Nachleuchten" gestellt, an dem dann die Pulshöhen abgelesen werden können. Im weiteren Verlauf des Versuches soll der

differentielle Streuquerschnitt für eine 2 μm dünne Goldfolie untersucht werden. Hierfür wird die Zählrate in Abhängigkeit des Streuwinkels gemessen. Für diese Messung werden verschiedene Winkel eingestellt. Da der α -Zerfall poissonverteilt ist, wird versucht den Fehler möglichst klein zu halten. Der statistische Fehler dieser Messung für die Zählrate beträgt \sqrt{I} . Für die Messung der Mehrfachstreuung wird der Streuquerschnitt mithilfe von einer anderen Goldfolie mit einer Dicke von 4 μm bei einem festen Winkel von 15° gemessen.

4 Auswertung

4.1 Vorbereitungsaufgabe

4.1.1 Termschema des Americium-Präparates

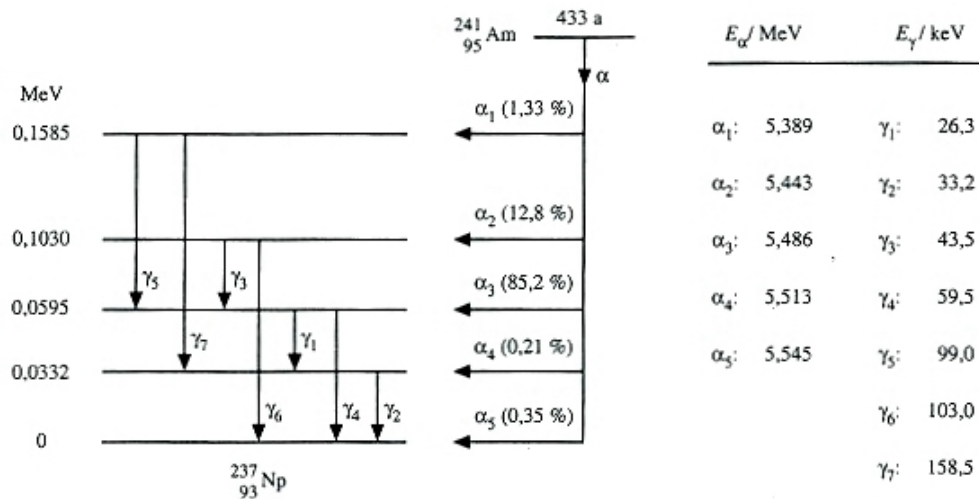


Abbildung 2: Zerfallsschema des Americium-Präparates, [1].

4.1.2 Annahmen zur Herleitung der Bethe-Bloch-Gleichung und der Rutherfordschen Streuformel

Für die Herleitung der Bethe-Bloch-Gleichung wird angenommen, dass das schwere Teilchen eine Ruhemasse m_0 besitzt, die deutlich größer ist als die Ruhemasse eines Elektrons ($m_0 \gg m_e$). Eine Ablenkung bei der Wechselwirkung kommt also in diesem Fall nicht in Frage. Es wird angenommen, dass das Hüllenelektron sich vor der Wechselwirkung in Ruhe befindet und dieses frei ist.

Für die Rutherfordschen Streuformel wird angenommen, dass das Atom einen positiv geladenen Kern hat und dass sich um den Kern die negative Elementarladungen, Elektronen, mit verschwindend kleiner Masse befinden. Während der Streuung wird der Kern

als ruhend angenommen, weil dieser eine höhere Masse als das α -Teilchen besitzt. Als letztes wird noch angenommen, dass keine Mehrfachstreuung auftritt.

4.1.3 Bestimmung des Bremsvermögens in Luft für die Alpha-Teilchen

Trockene Luft besteht hauptsächlich aus rund 78,08 % Stickstoff und 20,95 % Sauerstoff. Mithilfe der Ionisationsenergien der beiden Stoffe sowie Ordnungs- und Massenzahlen wird mittels einer Mittelwertrechnung für Luft die folgenden Werte (s. Tabelle 1) berechnet:

Tabelle 1: Die Bestandteile aus Luft und die Mittelwertrechnung, [3] [4] [5] [6].

Stoff	Ordnungszahl / Z	Massenzahl / A	Ionisationsenergie / eV
Sauerstoff	8	16	95
Stickstoff	7	14	82
Luft	7,5	15	88,5

Unter den Standardbedingungen ($T = 298,15 \text{ K}$) [2] beträgt die Luftdichte den folgenden Wert:

$$\rho = 1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (3)$$

Damit kann das Bremsvermögen von α -Teilchen in Luft berechnet werden und beträgt:

$$-\frac{dE}{dx} = 22,2815 \frac{\text{MeV}}{\text{m}}$$

Mit dem allgemeinen Gasgesetz kann anschließend der Luftdruck ermittelt werden:

$$p = \frac{\rho RT}{M} \quad (4)$$

wobei R die allgemeine Gaskonstante, T die Temperatur unter den Standardbedingungen 298,15 K und M die Molare Masse sind. Mit der Gleichung 1 wird für eine Wegstrecke von 100 mm ein Luftdruck von 12,19 Pa berechnet.

5 Diskussion

Literatur

- [1] archive.today. *Theorie Americium*. 2019. URL: <http://archive.is/f8fyZ> (besucht am 24.01.2019).
- [2] Chemie.de. *Luftdichte*. 2019. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Luftdichte.html> (besucht am 24.01.2019).
- [3] Chemie.de. *Sauerstoff*. 2019. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Sauerstoff.html> (besucht am 24.01.2019).

- [4] Chemie.de. *Stickstoff*. 2019. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Stickstoff.html> (besucht am 24.01.2019).
- [5] PDG Live. *Atomic and nuclear properties of materials: Oxygen Gas*. 2019. URL: http://pdg.lbl.gov/2011/AtomicNuclearProperties/HTML_PAGES/008.html (besucht am 06.03.2019).
- [6] PDG Live. *Atomic and nuclear properties of materials: Nitrogen gas*. 2019. URL: http://pdg.lbl.gov/2011/AtomicNuclearProperties/HTML_PAGES/007.html (besucht am 06.03.2019).
- [7] TU Dortmund: Physikalisches Praktikum. *Versuch 16: Rutherford Streuung*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/FP/SKRIPT/Rutherford.pdf> (besucht am 13.12.2018).