

V16

## **Rutherford Streuexperiment**

Anika Henke                      Asena Oelschläger  
anika.henke@udo.edu      asena.oelschlaeger@tu-dortmund.de

Durchführung: 17.07.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

# 1 Einleitung

In diesem Versuch soll die Streuung von  $\alpha$ -Teilchen an Goldfolie mithilfe eines klassischen Rutherford Streuexperiments untersucht werden. In einer vakuumierten Kammer werden dazu  $\alpha$ -Teilchen nach der Streuung von einem SB-Detektor unter einem bestimmten Raumwinkel gezählt. Dabei werden charakteristische Größen wie der Energieverlust durch die Goldfolie oder der differentielle Wirkungsquerschnitt bestimmt und mit theoretischen Werten verglichen.

## 2 Theorie

In diesem Experiment wird eine Goldfolie als Target mit einem Strahl aus  $\alpha$ -Kernen beschossen. Die  $\alpha$ -Kerne erfahren dabei an den Kernen der Goldatome eine Potentialstreuung, unter derer sie um einen Winkel  $\Theta$  abgelenkt werden. Dieser Vorgang kann mit dem differentiellen Wirkungsquerschnitt

$$\frac{d\sigma}{d\Theta}(\Theta) = \left( \frac{zZe^2}{64\pi\epsilon_0 E_\alpha} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \quad (1)$$

nach Rutherford beschrieben werden. Dabei ist  $z$  die Kernladungszahl,  $E_\alpha$  die mittlere kinetische Energie des  $\alpha$ -Kerns und  $Z$  die Ordnungszahl des Targetelements. Die Beziehung 1 wurde unter der Annahme, dass es sich bei den  $\alpha$ -Kernen um klassische spinlose Teilchen handelt und dass das Target sowohl ortsfest als auch keine räumliche Ausdehnung besitzt, hergeleitet.

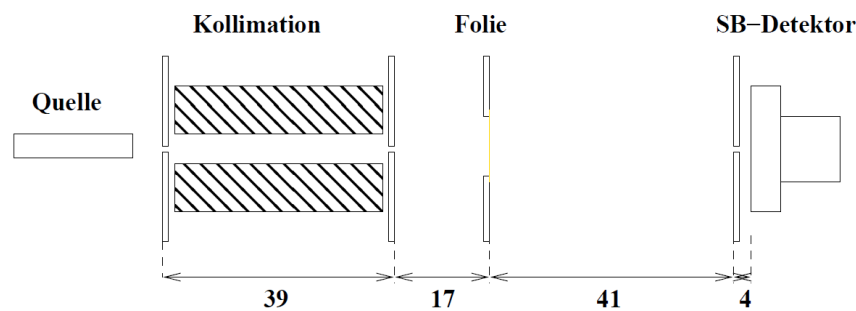
Zusätzlich zu diesem elastischen Stoßanteil wechselwirkt der  $\alpha$ -Kern ebenso mit der Hülle. Durch die hohe Masse im Vergleich zu einem Elektron ändert sich dabei die Flugrichtung kaum, allerdings verliert der Kern Energie. Der Energiegradient wird durch die Bethe-Bloch-Gleichung

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

beschrieben. Hier ist  $N$  die Zahl der Atome pro Volumeneinheit,  $v$  die momentane Geschwindigkeit des  $\alpha$ -Kerns,  $I$  die mittlere Ionisierungsenergie des Targetelements und  $m_0$  die Ruheenergie des Elektrons.

### 3 Versuchsaufbau und Durchführung

Ein schematischer Aufbau entlang der optischen Achse ist in Abbildung 1 zu sehen. Als Strahlungsquelle dient ein  $^{241}\text{Am}$  Präparat. Um einen gebündelten Strahl zu erhalten, durchlaufen die Teilchen eine 2 mm Schlitzblende, so dass möglichst nur senkrecht auf die Folie treffende Teilchen ankommen. An der Folie werden diese dann gestreut. In einem festgelegten Winkel zur Folie ist der Detektor so positioniert, dass dort die Intensität der gestreuten Teilchen in Abhängigkeit vom Streuwinkel gemessen werden kann. Die bei einem Teilcheneingang entstehenden elektrischen Impulse werden anschließend von einem Verstärker verstärkt und je nach Bedarf an ein Oszilloskop oder ein Zählwerk über ein Koaxialkabel weitergeleitet.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Streuversuchs im Querschnitt entlang der optischen Achse des Aufbaus.

Die Durchführung des Experiments durchläuft einige Schritte:

1. Zunächst wird die Streukammer mithilfe einer Pumpe evakuiert. Dieses ist notwendig, da Moleküle in der Luft mit den gestreuten  $\alpha$ -Kernen kollidieren können und diese Ablenken.
2. Nun wird die Aktivität der Quelle zum Zeitpunkt des Experiments gemessen. dazu werden die ankommenden  $\alpha$ -Teilchen ohne Folie bei einem Winkel von etwa  $0^\circ$  etwa 100 s gemessen.
3. Es soll nun die Foliendicke durch Messung des Energieverlustes der  $\alpha$ -Teilchen gemessen werden. Dazu wird sowohl mit als auch ohne Goldfolie der Dicke  $2\text{ }\mu\text{m}$  die Höhe der ankommenden Pulse bei verschiedenem Umgebungsdruck gemessen. Die Pulshöhen werden als Mittelwert am Oszilloskop abgelesen.
4. Nun wird der differentielle Wirkungsquerschnitt gemessen, indem die Zählrate für verschiedene Winkel gemessen wird.
5. Um Mehrfachstreuung zu untersuchen, wird zusätzlich zu der bisher verwendeten dünnen Goldfolie eine dickere Folie von  $4\text{ }\mu\text{m}$  hinzugezogen und die Zählrate für

einen festen Winkel von  $7^\circ$  gemessen.

6. Zuletzt wird die  $Z$ -Abhängigkeit des differentiellen Wirkungsquerschnittes untersucht, indem wieder bei einem Winkel von  $7^\circ$  die Zählraten für die Folienelemente Bismut und Aluminium gemessen wird.

## 4 Auswertung

Zu Beginn wurde die Aktivität der Quelle vermessen, indem 100 s die an dem Detektor ankommenden Impulse gezählt wurden. Es wurden 2022 Impulse gezählt. Der theoretisch vorhergesagte Wert für die  $^{241}\text{Am}$ -Probe mit einer Halbwertszeit von 432.2 a lautet 316 kBq.

### 4.1 Energieverlustmessung

Die Messwerte für die Pulshöhe des Detektors mit und ohne Folie sind in den Abbildungen 3 und 4 und zusätzlich nochmal in Tabelle 1 zu sehen. Der Puls nimmt dabei die im Screen 2 gezeigte Form an. Aus diesem Bild kann man ungefähr eine Anstiegszeit von etwa  $\approx 1.5 \mu\text{s}$  ablesen.

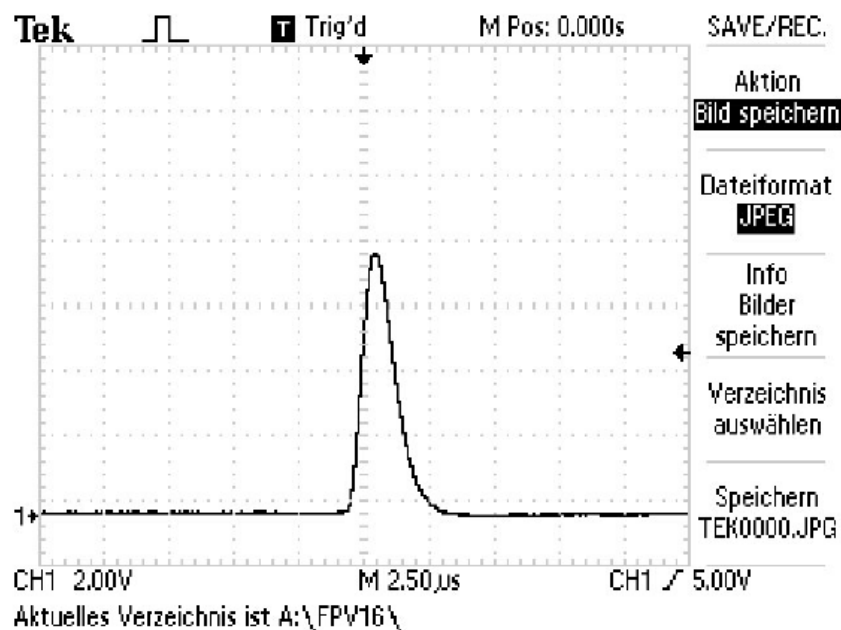


Abbildung 2: Form eines gemessenen Impulses am Oszilloskop nach dem Verstärker.

**Tabelle 1:** Messwerte Für die Pulshöhen  $U$  bei verschiedenem Druck.

Ohne Folie		Mit Folie	
Druck/mbar	Pulshöhe/V	Druck/mbar	Pulshöhe/V
0.043	8.00	0.12	5.76
1.2	7.92	1.0	5.76
10.0	7.84	16.4	5.12
12.8	7.60	22.2	4.96
15.7	7.44	32.5	4.72
22.0	7.36	44.7	3.96
32.1	7.20	61.0	3.60
43.7	6.96	72.2	3.24
60.9	6.48	86.4	3.08
72.0	6.32	98.1	2.80
86.9	5.92	117.0	2.72
98.4	5.76	130.3	2.40
116.9	5.12	147.1	1.61
130.8	4.72	162.4	1.40
147.6	4.40	208.5	0.56
162.5	4.00		
180.6	3.32		
198.7	2.92		
218.6	2.36		
236.0	1.80		
250.0	1.40		
264.5	1.08		
278.3	0.86		
292.4	0.43		
312.4	0.04		

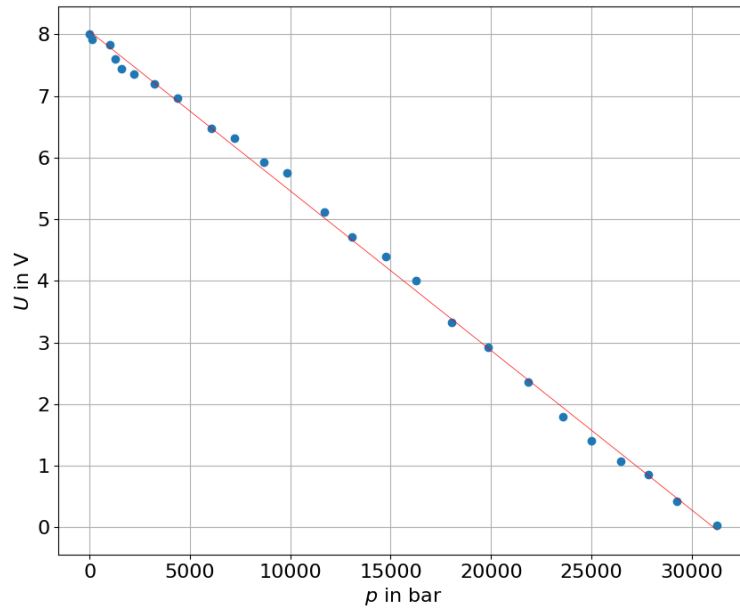
In beiden wurden die Messpunkte linear mit  $f(x) = p_0 \cdot x + p_1$  gefitet. Beide Geraden haben eine fast identische Steigung. Der Fit ohne Folie hat die Parameter

$$\vec{p}_1 = \begin{bmatrix} -25.9 \pm 0.2 \\ 8.05 \pm 0.04 \end{bmatrix}$$

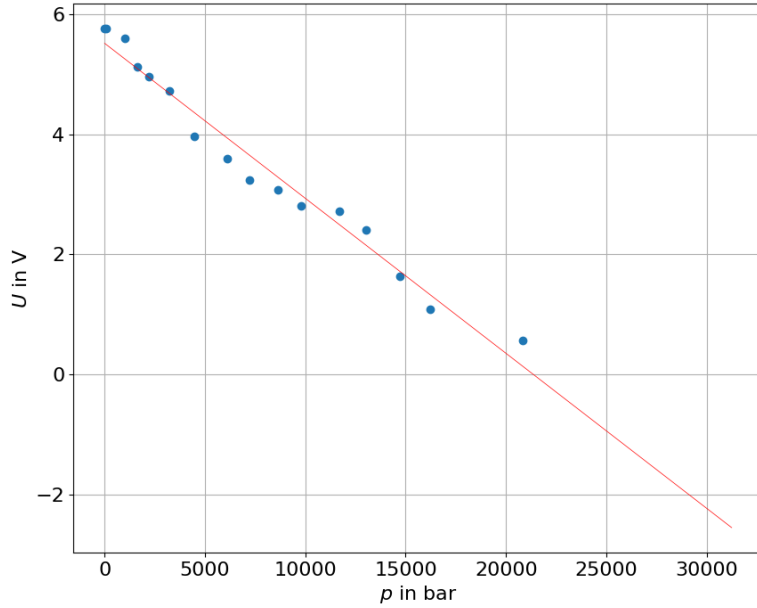
während der mit Folie die Parameter

$$\vec{p}_2 = \begin{bmatrix} -25 \pm 1 \\ 5.5 \pm 0.1 \end{bmatrix}$$

besitzen. Dabei kann die Differenz zwischen den Werten auf der Ordinate als Energiedifferenz  $\Delta E$  gedeutet werden. Mithilfe der Parameter für Gold ( $Z = 79$ ,  $I = 9.225$ ,  $N = 5.9 \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{cm}^3}$ ) und der Bethe-Block-Formel kann die Dicke der Folie zu  $\Delta x = 2.6 \mu\text{m}$  berechnet werden. Für die Auswertung der Bethe-Block-Formel wird diese nach dem expliziten Euler-Verfahren  $\frac{dE}{dx} \rightarrow \frac{1}{h} (E_{n+1} - E_n) = \frac{\Delta E_{n+1}}{h} = f(E_n)$  diskretisiert. Für den Diskretisierungsparameter wird ein Wert  $h = 0.1 \mu\text{m}$  gewählt. Der akkumulierte Fehler beim Euler Verfahren lautet  $\mathcal{O}(h)$ .



**Abbildung 3:** Gemessene Pulshöhe  $I$  in Abhängigkeit des Drucks  $p$  ohne Folie.



**Abbildung 4:** Gemessene Pulshöhe  $I$  in Abhängigkeit des Drucks  $p$  mit Folie.

## 4.2 Differentieller Wirkungsquerschnitt

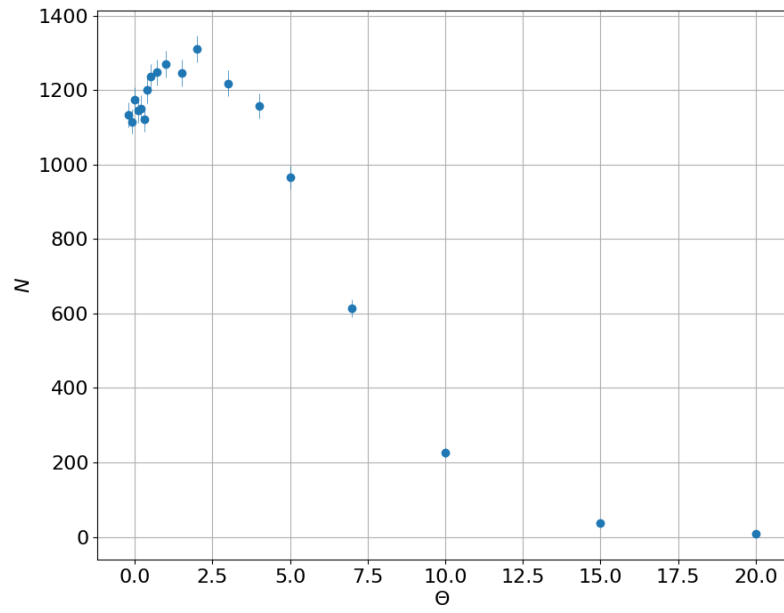
Die gemessenen Partikel für verschiedene Streuwinkel sind Abbildung 5 und Tabelle 2 zu entnehmen. Für den differentiellen Wirkungsquerschnitt gilt der Zusammenhang

$$\frac{d\dot{N}}{d\Omega} = \dot{N}_0 \frac{n}{4} \frac{d\sigma}{d\Omega}, \quad (3)$$

wobei  $n$  das Produkt aus Teilchendichte und Dicke des Targets Gold darstellt und die Linke Seite gemessen wird. Der Ausdruck muss demnach nur nach  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  umgestellt werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 6 dargestellt. Zusätzlich wurde die Theorie-Kurve für den Rutherford'schen Wirkungsquerschnitt eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass Die Übereinstimmung nur bei großen Streuwinkeln eintritt, da in der Theorie der Wirkungsquerschnitt für  $\Theta \rightarrow 0^\circ$  divergiert. Dies ist möglicherweise auf die Dicke der Folie und die Kernaussdehnung der Goldatome zurückzuführen.

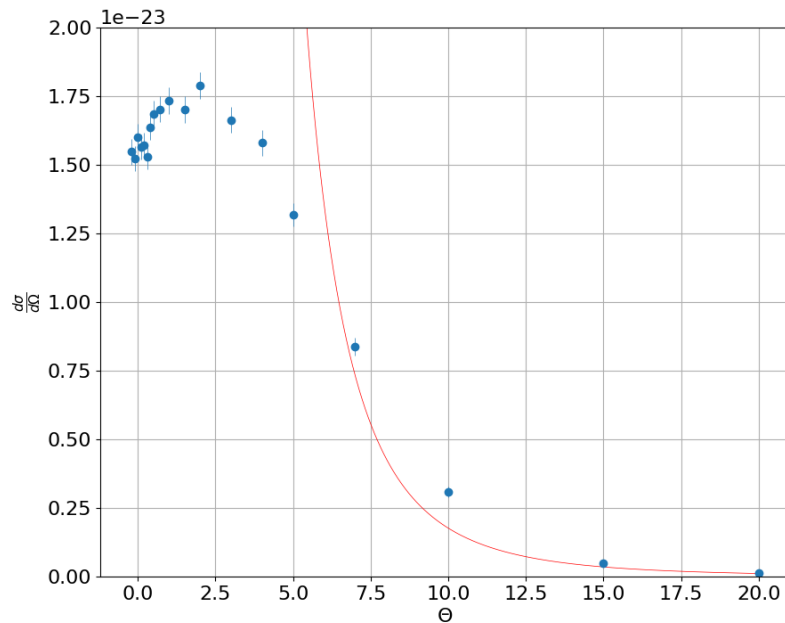
**Tabelle 2:** Messwerte für eingegangene Teilchen in Abhängigkeit des Streuwinkels  $\Theta$ .

Winkel	Anzahl
-0.2	1134
-0.1	1116
0.0	1174
0.1	1147
0.2	1152
0.3	1121
0.4	1200
0.5	1236
0.7	1248
1.0	1270
1.5	1247
2.0	1311
3.0	1219
4.0	1158
5.0	967
7.0	614
10.0	226
15.0	36
20.0	9



**Abbildung 5:** Gemessene gestreute Teilchen in Abhängigkeit des Streuwinkels  $\Theta/^\circ$ .





**Abbildung 6:** Differentieller Wirkungsquerschnitt in Abhängigkeit des Streuwinkels  $\Theta/^\circ$ .

### 4.3 Mehrfachstreuung

Der Streuquerschnitt für die verwendete Folie von  $\Delta x = 2\mu\text{m}$  ist somit  $1.3 \cdot 10^{-23} \text{ m}$  für  $\Theta_1 = 0^\circ$  und  $8.4 \cdot 10^{-25} \text{ m}$  für  $\Theta_2 = 7^\circ$ . Für eine Goldfolie der Dicke  $\Delta = 4\mu\text{m}$  wurden Streuquerschnitte von  $8.2 \cdot 10^{-24} \text{ m}$  für  $\Theta_1$  und  $6.5 \cdot 10^{-24}$  für  $\Theta_2$  gemessen. Man sieht, dass sich die Streuquerschnitte für die dickere Folie zwischen den beiden Winkeln kaum unterscheiden, was bei der dünneren Folie nicht der Fall ist. Außerdem sind die berechneten Querschnitte der dickeren Folie ein wenig geringer.

### 4.4 Ordnungszahlabhängigkeit

Zuletzt soll noch die Z-Abhängigkeit untersucht werden. Die gemessene Intensität bei festem Streuwinkel ist dabei Abbildung 7 zu entnehmen. Theoretisch soll gemäß der Rutherfordschen Streuformel eine quadratische Abhängigkeit auftreten. Dazu wurde zusätzlich noch ein fit mit quadratischer Modellfunktion in Abb. 7 eingefügt, um dies zu verdeutlichen. Die genannte Abhängigkeit lässt sich somit mit hinreichender Genauigkeit zeigen.

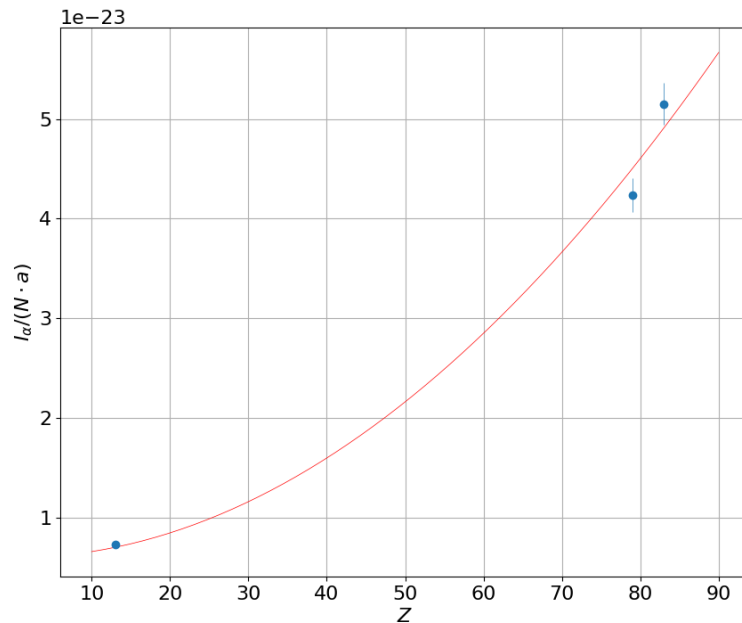


Abbildung 7: Gemessene Zählraten über der Ordnungszahl.

## 5 Diskussion

Die Ergebnisse aus der Energieverlustmessung zeigen eine gute Übereinstimmung mit der auf der Probe hinterlegten Dicke. Das Ergebnis weicht zwar von der angegebenen Dicke um gute 30% ab, liegt aber in der gleichen Größenordnung. Bei der Betrachtung des differentiellen Wirkungsquerschnitts fällt sofort auf, dass das Maximum nicht Erwartungsgemäß bei einem Streuwinkel von  $\Theta = 0^\circ$  liegt, sondern verschoben ist. Dieses ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass sowohl die Probenhalterung nicht senkrecht zur Quelle eingebaut wurde als auch die eingespannte Folie leichte Falten aufwies. Die Abhängigkeit von der Ordnungszahl wurde entsprechend den Erwartungen nachgewiesen.

## 6 Literatur

[1] Skript zum Versuch 48 des physikalischen Fortgeschrittenenpraktikums an der TU Dortmund zu finden unter: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/FP/SKRIPT/V48.pdf>, Stand: 15.05.2017