

V16

Rutherford Streuexperiment

Schokoladenporsche

Durchführung: 06.05.2019 Abgabe: 21.05.2019

Abgabe der ersten Korrektur: 22.06.2019

Abgabe der zweiten Korrektur: 17.07.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Theorie	3
2.1	BETHE-BLOCH -Formel	3
2.2	RUTHERFORD sche-Streuformel	3
2.3	Wirkungsquerschnitt	4
2.4	Zerfall von ^{241}Am	4
2.5	Surface-Barrier Detektor	4
2.6	Drehschieberpumpe	4
2.7	Poisson-Verteilung	5
3	Durchführung	5
4	Auswertung	7
4.1	Einfluss des Verstärkers	7
4.2	Energieverlust	8
4.3	Aktivität der Probe	13
4.4	Streuquerschnitt	13
4.5	Mehrfachstreuungen	15
4.6	Z-Abhängigkeit der Streumaterialien bei einem großen Winkel	16
5	Diskussion	18
	Literatur	18

1 Motivation

Das Rutherford-Streuexperiment, welches von Geiger und Mardsen durchgeführt wurde, hat nach seiner Beendigung 1913 das Verständnis vom Aufbau des Atoms fundamental verändert. In diesem Versuch geht es darum die richtungsweisenden Ergebnisse, in Teilen, nachzumessen und ihre Bedeutung nachzuvollziehen.

2 Theorie

Die Wechselwirkung der ${}^4\text{He}$ -Kerne, bzw. α -Teilchen, mit der Materie erfolgt im Theoriemodell auf zwei Arten.

2.1 Bethe-Bloch -Formel

Wenn die α -Teilchen durch die Folie hindurchfliegen und mit den Elektronen der Atomhüllen wechselwirken ist der daraus resultierende Energieverlust durch die BETHE-BLOCH -Formel gegeben [5]:

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

$$z = 2$$

v = Geschwindigkeit des α -Teilchens

$I \approx (10 \text{ eV}) \cdot Z$ Ionisationsenergie des Streuatoms

$$n = \frac{Z \cdot \rho}{A \cdot u} \quad \text{Elektronendichte}$$

ρ = Materialdichte

2.2 Rutherford sche-Streuformel

Die zweite Möglichkeit ist die Streuung der α -Teilchen an den Atomkernen. Dieses wird durch die RUTHERFORD sche-Streuformel beschrieben

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

Z und z sind die Kernladungszahlen der beteiligten Teilchen und E_α ist die mittlere Energie der α -Teilchen. θ bezeichnet den Winkel zwischen dem Einfallsweg und der Streustrecke des α -Teilchens.

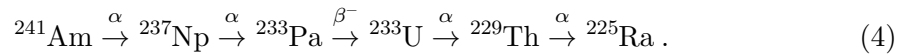
2.3 Wirkungsquerschnitt

Im Zusammenklang mit Streuexperimenten muss auch auf den Wirkungsquerschnitt eingegangen werden. Der differentielle Wirkungsquerschnitt $d\sigma/d\Omega$ gibt die Anzahl der in das Raumelement $d\Omega$ gestreuten Teilchen an. Der Wirkungsquerschnitt σ folgt mit der Integration über alle Raumwinkelemente, typischerweise in Kugelkoordinaten,

$$\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega. \quad (3)$$

2.4 Zerfall von ^{241}Am

Die Quelle der α -Teilchen ist ein ^{241}Am -Strahler. Der Anfang der Zerfallsreihe ist, nach [7],



Die Halbwertszeiten der ersten Zerfallsschritte sind

$$^{241}\text{Am} : \quad \tau = (432,6 \pm 0,6) \text{ a} \quad (5)$$

$$^{237}\text{Np} : \quad \tau = (2,144 \pm 0,007) \cdot 10^6 \text{ a} \quad (6)$$

$$^{233}\text{Pa} : \quad \tau = (26,975 \pm 0,013) \text{ d} \quad (7)$$

$$^{233}\text{U} : \quad \tau = (1,592 \pm 0,002) \cdot 10^5 \text{ a} \quad (8)$$

Es wird das α -Teilchen aus dem Zerfall $^{241}\text{Am} \xrightarrow{\alpha} ^{237}\text{Np}$ betrachtet, aufgrund der Halbwertszeiten. Die Energie der α -Teilchen beträgt $E_\alpha = 5485,56 \text{ keV}$ [7].

2.5 Surface-Barrier Detektor

Ein Surface-Barrier Detektor ist ein Halbleiterdetektor. Ein einfallendes geladenes Teilchen kann ein Elektron aus dem Valenzband so anregen, dass es in das Leitungsband springen kann. Die zurückbleibende effektive positive Ladung wird als Loch bezeichnet. Elektron und Loch werden durch ein angelegtes elektrisches Feld zu den gegenüberliegenden Elektroden gezogen. Die Feinauflösung des Detektors kann durch ein Gitter aus einzelnen kleineren Detektoren oder durch die Bewegung eines Detektors erhöht werden.

2.6 Drehschieberpumpe

Der Versuch wird im Vakuum durchgeführt, damit die Energieabgabe der α -Teilchen an die Luft minimiert werden kann. Dadurch wird die Reichweite der α -Strahlung erhöht. Das Vakuum wird mit einer Drehschieberpumpe erzeugt. Diese hat zur Besonderheit, dass der Rotor exzentrisch gelagert ist, wie es in Abbildung 1 zu sehen ist. Damit der Schöpfraum immer in mindestens zwei Kammern unterteilt ist, sind im Rotor zwei Stäbe eingefasst, die entweder durch Trägheit oder eine Feder zum Rand gedrückt werden. Der Schöpfraum wird über Ventile belüftet.

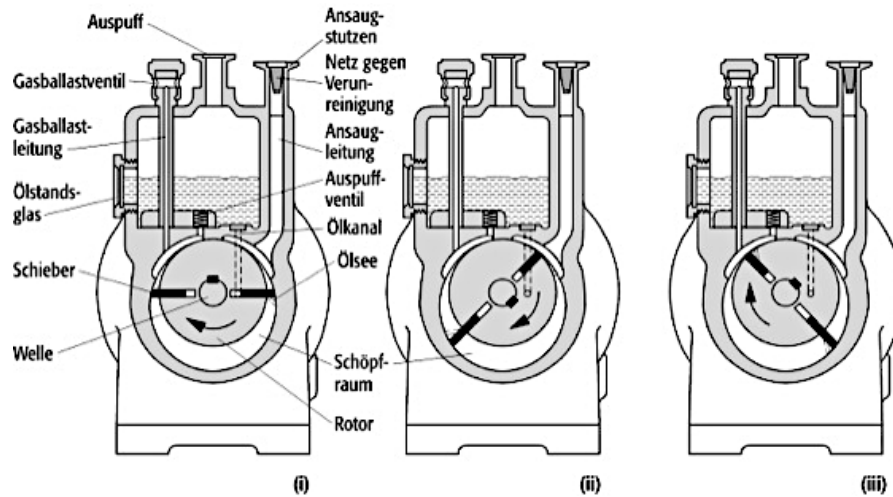


Abbildung 1: Skizze einer Drehschieberpumpe zu verschiedenen Zeitpunkten [1].

2.7 Poisson-Verteilung

Die verwendete Messmethode ist die Zählung der Teilchen mithilfe des Surface-Barrier Detektors. Eine Zählung unterliegt immer der Poissonverteilung, die Standardabweichung dieser ist

$$\sigma_{\lambda} = \sqrt{\lambda} \quad (9)$$

wenn λ das Ergebnis ist. Es wird eine relative Fehler von 3 % angestrebt. Dafür muss

$$\Delta_{\lambda} = \frac{\sqrt{\lambda}}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \stackrel{!}{=} 3\% \quad (10)$$

$$\lambda = \frac{1}{(0.03)^2} = 1111,1. \quad (11)$$

gelten.

3 Durchführung

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Drehschieberpumpe zur Erzeugung des Vakuums und dazugehörigem Vakuumbehälter. In diesem Behälter befindet sich die eigentliche Messapparatur. Diese ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Einheiten sind jeweils mm für alle Längen. Die α -Teilchen werden, nach dem Austritt aus der Quelle, im Kollimator parallel ausgerichtet. Anschließend streuen sie an einer dünnen Folie, im Laufe des Versuches werden verschiedene Materialien und Dicken verwendet.

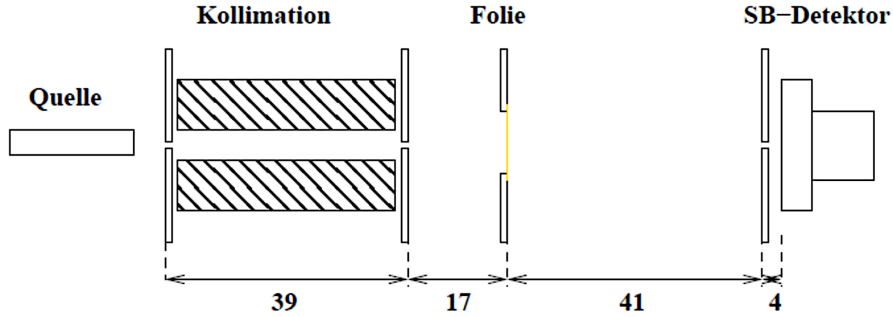


Abbildung 2: Skizze der Messapparatur. Längenangaben in Millimetern. [3]

Der SB-Detektor kann um die Folie gedreht werden. Die Stellung in Abbildung 2 entspricht $\varphi = 0^\circ$. Die Spannung des SB-Detektors bleibt während aller Messungen bei $U_{\text{det}} = 12 \text{ V}$. Das Ausgangssignal wird je nach Messung mit einem Oszilloskop dargestellt oder in einem Zählwerk detektiert.

In der ersten Messungen werden die Pulse des Detektors auf dem Oszilloskop zeitlich aufgelöst beobachtet. Zuerst die unverstärkten und dann die, durch dem Zähler vorgeschaltetem Verstärker, verstärkten.

Der Einfluss der Foliendicke auf die Zählrate, in Kombination mit dem Kammerdruck, wird in der zweiten Messung bestimmt. Hierfür wird die Impulshöhe auf dem Oszilloskop im Bereich von 0,04 mbar bis 200 mbar notiert. Jeweils eine Messreihe für eine $2 \mu\text{m}$ Goldfolie und eine Messreihe ohne Folie. Da die Impulshöhen schwanken wird eine maximale und minimale Amplitude genommen.

Die Winkelabhängigkeit der Zählrate wird, im Vakuum, für die 2 und $4 \mu\text{m}$ Goldfolie bestimmt. Die Integrationszeit wird so gewählt, dass die Zählung ungefähr ein Ergebnis von 1111 bringt.

Die Messung Nummer vier erfolgt zur Bestimmung des Einflusses von Mehrfachstreuungen. Es wird bei einem festen Winkel für verschiedene Foliendicken die Anzahl an gestreuten Teilchen gemessen.

In der letzten Messung wird das Material der Folie geändert. Bei einem Winkel von $20,1^\circ$ werden die Folien in Tabelle 1, bei einer Integrationszeit von 300 s, verwendet:

Tabelle 1: Verwendete Folien für die Z-Abhängigkeit.

Material	Foliendicke / μm
Gold	4
Aluminium	3
Bismut	2

4 Auswertung

4.1 Einfluss des Verstärkers

Ein unverstärkter Puls ist in Abbildung 4a abgebildet. Die Abklingzeit τ beträgt

$$\tau = 50 \mu\text{s} \quad (12)$$

$$p = 0,068 \text{ mbar} \quad (13)$$

$$\varphi = 0^\circ. \quad (14)$$

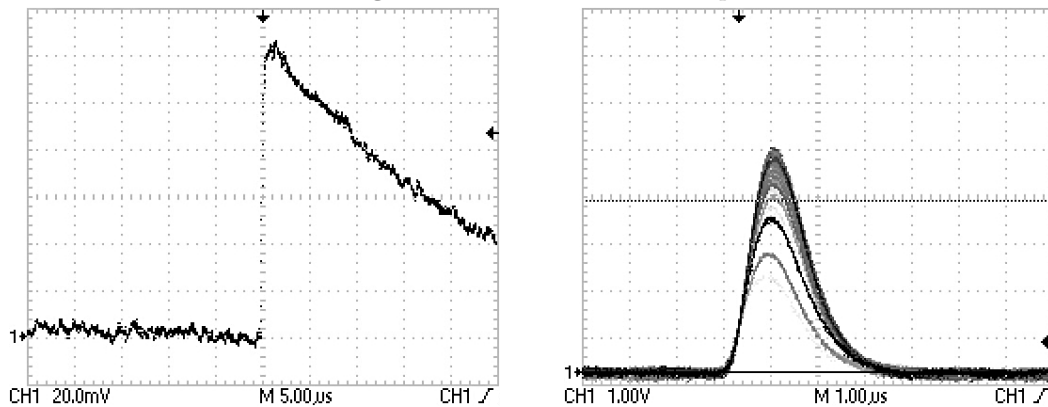
Für die Abbildung 4b wurde ein Nachleuchten von 5 s eingestellt. Die Abklingzeit ist deutlich kürzer mit

$$\tau = 1 \mu\text{s} \quad (15)$$

$$p = 0,054 \text{ mbar} \quad (16)$$

$$\varphi = 0^\circ. \quad (17)$$

Abbildung 3: Pulse auf dem Oszilloskopschirm.



(a) Unverstärkter Puls auf dem Oszilloskopschirm. (b) Verstärkte Pulse auf dem Oszilloskopschirm.

Es kann dabei sehr gut beobachtet werden, dass der Verstärker die Peakhöhe von circa 124 mV im unverstärkten Signal zu 5 V verstärkt wird. Ohne die Verstärkung startet der Puls instantan. Die Verstärkung verschmiert außerdem das Signal in die Breite.

4.2 Energieverlust

In Abbildung 5 bzw. 6 sind die Daten der Energieverlustmessung aufgetragen. Es wurde zwischen der maximalen und minimalen Amplitude nach

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i \quad (18)$$

der Mittelwert und nach

$$\Delta\bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{k=0}^N (x_k - \bar{x})^2} \quad (19)$$

der Fehler des Mittelwerts bestimmt. Alle Daten stehen in den Tabellen 2 & 3. Die Ausgleichsgeraden der Form

$$U = m \cdot p + b \quad (20)$$

führen auf die Parameter

$$m_{\text{ohne}} = (-0,0126 \pm 0,0029) \frac{\text{V}}{\text{mbar}} \quad (21)$$

$$b_{\text{ohne}} = (4,21 \pm 0,23) \text{ V} \quad (22)$$

für die Messung ohne Folie. Mit der 2 µm Goldfolie folgen

$$m_{\text{mit}} = (-0,011 \pm 0,001) \frac{\text{V}}{\text{mbar}} \quad (23)$$

$$b_{\text{mit}} = (3,01 \pm 0,16) \text{ V} . \quad (24)$$

Die Energiedifferenz berechnet sich gemäß

$$\Delta E = E_{\alpha} \cdot \left(1 - \frac{b_{\text{mit}}}{b_{\text{ohne}}} \right) . \quad (25)$$

Damit folgt

$$\Delta E = (1,6 \pm 0,3) \cdot 10^6 \text{ eV} . \quad (26)$$

$$E_{\alpha} = 5485,56 \text{ keV} \quad (27)$$

Die Geschwindigkeit der α -Teilchen folgt mit umstellen der kinetischen Energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} \quad (28)$$

zu

$$v_{\alpha}^2 = \frac{E_{\text{ohne}} + E_{\text{mit}}}{m_{\alpha}} \quad (29)$$

mit [2]

$$m_\alpha = 3727,379\,378 \text{ MeV} \quad (30)$$

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{E_\alpha}{m_\alpha} \left(1 + \frac{b_{\text{mit}}}{b_{\text{ohne}}}\right)} \quad (31)$$

$$v_\alpha = (0,0502 \pm 0,0008)c \quad (32)$$

$$v_\alpha = (1,506 \pm 0,024) \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (33)$$

Mit der nach Δx umgestellten BETHE-BLOCH -Formel (1) ergibt sich

$$\Delta x = \frac{\Delta E \cdot m_e \cdot v_\alpha^2 \cdot 4\pi \cdot \varepsilon_0^2 \cdot A \cdot u}{z^2 \cdot e^4 \cdot Z \cdot \rho \cdot \ln\left(\frac{2m_e v_\alpha^2}{I}\right)} \quad (34)$$

$$\Delta x = (3,5 \pm 0,7) \cdot 10^{-6} \text{ m}. \quad (35)$$

Der Energieverlust ist

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\Delta E}{\Delta x} = (1,12 \pm 0,29) \cdot 10^{12} \frac{\text{eV}}{\text{m}}. \quad (36)$$

Die Konstanten sind[2][4]:

$$\begin{aligned} \Delta E &= (1,56 \pm 0,17) \cdot 10^6 \text{ eV} \\ m_e &= 9,109\,383\,701\,5 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ \varepsilon_0 &= 8,854\,187\,812\,8 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}} \\ A &= 197 \\ u &= 1,660\,539\,066\,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ z &= 2 \\ e &= 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ Z &= 79 \\ \rho &= 19,3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ I &= 1,265\,719\,530\,431\,999\,8 \cdot 10^{-16} \text{ J}. \end{aligned}$$

Analog wurde auch die Reichweite von α -Strahlung in Luft berechnet, wobei anstatt mit Luft mit Stickstoff gerechnet wurde, da diese zu einem großen Prozentsatz daraus besteht. Die Reichweite in Luft berechnet sich zu

$$\Delta x = (1,6 \pm 0,3) \text{ cm}, \quad (37)$$

der Energieverlust zu

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\Delta E}{\Delta x} = (2,4 \pm 0,6) \cdot 10^8 \frac{\text{eV}}{\text{m}} . \quad (38)$$

Die neuen Parameter dafür sind:

$$\begin{aligned} A &= 14 \\ z &= 2 \\ Z &= 7 \\ v_\alpha &= 1,626 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \rho &= 1,2041 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ I &= 1,121 \cdot 10^{-17} \text{ J} \end{aligned}$$

Mit einer anderen Variante der BETHE-BLOCH -Gleichung

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} = \frac{4\pi e^2 z^2 N^2}{m_0 v^2 (4\pi \varepsilon_0)^2} \ln \left(\frac{2m_0 v^2}{I} \right) \quad (39)$$

$$N^2 = \frac{m_0 v^2 (4\pi \varepsilon_0)^2}{4\pi e^2 z^2 \ln \left(\frac{2m_0 v^2}{I} \right)} \frac{\Delta E}{\Delta x} \quad (40)$$

$$N^2 = \frac{6,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot v_\alpha^2 (4\pi \varepsilon_0)^2}{4\pi (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2 \cdot 4 \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg} v_\alpha^2}{1,21 \cdot 10^{-17} \text{ J}} \right)} \frac{5,485 \text{ MeV}}{10,1 \text{ cm}} \quad (41)$$

$$N = 9,99 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{m}^3} \quad (42)$$

folgt der Druck

$$p = N k_b T = 4,3 \cdot 10^{-25} \text{ Pa} , \quad (43)$$

bei dem kein Teilchen mehr am Detektor gemessen wird, bei einer Temperatur $T = 310 \text{ K}$.

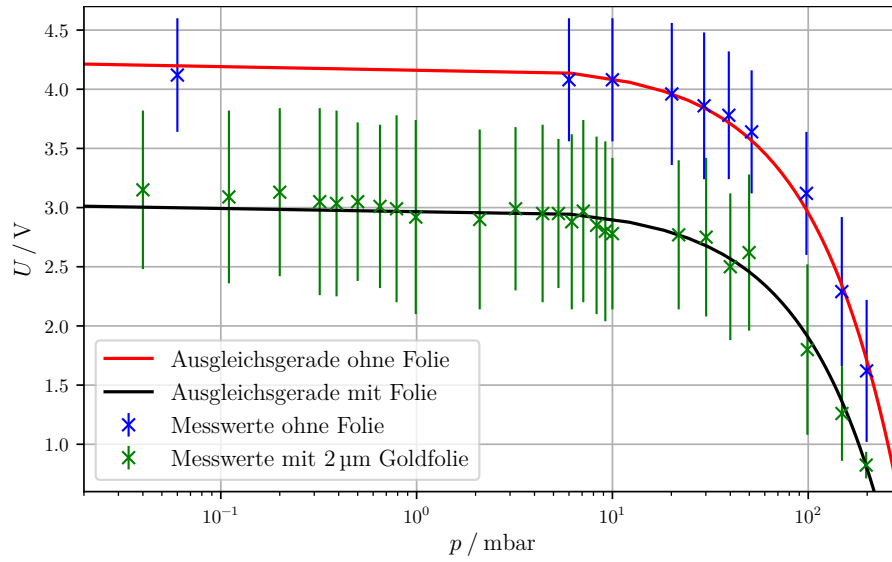


Abbildung 5: Messwerte der Energieverlustmessung und die zugehörigen Ausgleichsgeraden, logarithmisch.

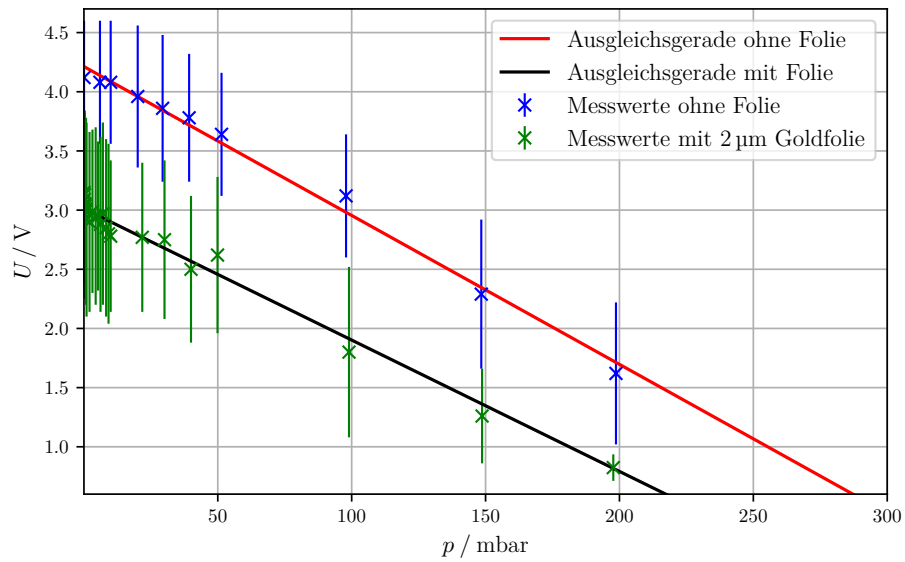


Abbildung 6: Messwerte der Energieverlustmessung und die zugehörigen Ausgleichsgeraden.

Tabelle 2: Ohne Folie.

p / mbar	U_{\max} / V	U_{\min} / V	\bar{U} / V
0,06	4,6	3,64	$4,12 \pm 0,48$
6,0	4,6	3,56	$4,08 \pm 0,52$
10,0	4,6	3,56	$4,08 \pm 0,52$
20,1	4,56	3,36	$3,96 \pm 0,60$
29,4	4,48	3,24	$3,86 \pm 0,62$
39,3	4,32	3,24	$3,78 \pm 0,54$
51,4	4,16	3,12	$3,64 \pm 0,52$
97,9	3,64	2,60	$3,12 \pm 0,52$
148,4	2,92	1,66	$2,29 \pm 0,63$
198,7	2,22	1,02	$1,62 \pm 0,60$

Tabelle 3: Mit 2 μm -Goldfolie.

p / mbar	U_{\max} / V	U_{\min} / V	\bar{U} / V
0,04	3,82	2,48	$3,15 \pm 0,67$
0,11	3,82	2,36	$3,09 \pm 0,73$
0,2	3,84	2,42	$3,13 \pm 0,71$
0,32	3,84	2,26	$3,05 \pm 0,79$
0,39	3,82	2,25	$3,035 \pm 0,785$
0,5	3,72	2,38	$3,05 \pm 0,67$
0,65	3,70	2,32	$3,01 \pm 0,69$
0,79	3,78	2,20	$2,99 \pm 0,79$
0,99	3,74	2,10	$2,92 \pm 0,82$
2,1	3,66	2,14	$2,9 \pm 0,76$
3,2	3,68	2,30	$2,99 \pm 0,69$
4,4	3,70	2,20	$2,95 \pm 0,75$
5,3	3,58	2,32	$2,95 \pm 0,63$
6,2	3,62	2,14	$2,88 \pm 0,74$
7,1	3,74	2,20	$2,97 \pm 0,77$
8,3	3,60	2,10	$2,85 \pm 0,75$
9,2	3,56	2,04	$2,8 \pm 0,76$
10,0	3,42	2,14	$2,78 \pm 0,64$
21,8	3,40	2,14	$2,77 \pm 0,63$
30,1	3,42	2,08	$2,75 \pm 0,67$
40,0	3,12	1,88	$2,5 \pm 0,62$
49,9	3,28	1,96	$2,62 \pm 0,66$
99,0	2,52	1,08	$1,8 \pm 0,72$
148,7	1,66	0,86	$1,26 \pm 0,4$
197,7	0,936	0,712	$0,824 \pm 0,112$

4.3 Aktivität der Probe

Die theoretische Aktivität der Probe beträgt

$$A = 330 \text{ kBq} \cdot \exp\left(-\frac{\ln(2)}{423 \text{ a}} 24,6 \text{ a}\right) = 317,23 \text{ kBq}. \quad (44)$$

Für die experimentelle Aktivität wird zuerst die effektive Detektorfläche bestimmt. Vor dem Detektor ist im Abstand von 4 mm eine 2 mm × 10 mm Blende montiert. Mit einem Strahlensatz kann das Verhältnis von Folie-Blende zu Folie-Detektor bestimmt werden. Es gilt nach Abbildung 2

$$\frac{97 \text{ mm}}{101 \text{ mm}} = \frac{\text{Blende}}{\text{Detektor}} \quad (45)$$

Es folgen

$$\begin{aligned} \text{Detektor}_{\text{Breite}} &= 106,463 \text{ 41 mm} \\ \text{Detektor}_{\text{Höhe}} &= 110,853 \text{ 65 mm}. \end{aligned}$$

Der gesuchte Raumwinkel ist

$$\Delta\Omega = 4 \cdot \arctan\left(\frac{B \cdot H}{2 \cdot 101 \text{ mm} \cdot \sqrt{4 \cdot 45 \text{ mm} + B^2 + H^2}}\right) = 0,904 \text{ 95}. \quad (46)$$

Die Aktivität folgt mit

$$A_{\text{exp}} = I_0 \frac{4\pi}{\Delta\Omega} = (224 \pm 6) \text{ kBq}. \quad (47)$$

4.4 Streuquerschnitt

In Tabelle 4 stehen die Messwerte und die berechneten Werte für die Streuquerschnitte für die 2 µm-Folie und in Tabelle 5 für 4 µm.

Die Streuquerschnitte [6] wurden gemäß

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\Delta\dot{N}}{\dot{N}n\Delta x\Delta\Omega} \quad (48)$$

berechnet, wobei $\Delta\dot{N}$ die Counts pro Zeitintervall und Raumwinkel $\Delta\Omega$ sind, \dot{N} ist die Nullmessung in $\frac{\text{Counts}}{\text{seconds}}$, n ist die Anzahl der Targetkerne in der Folie und Δx ist die Foliendicke.

Tabelle 4: Messwerte und Streuquerschnitte der 2 μm -Folie.

$\varphi / ^\circ$	Counts / 1/s	$\frac{d\sigma}{d\Omega} / 10^{-24}/\text{m}^2$	$\frac{d\sigma}{d\Omega_{\text{theo}}} / 10^{-25}/\text{m}^2$
-0,6	8,6 \pm 0,3	5,0 \pm 0,2	1 430 438,8
0,0	9,2 \pm 0,3	5,4 \pm 0,2	9 999 999,9
0,5	9,7 \pm 0,3	5,7 \pm 0,2	2 966 141,4
1,0	10,3 \pm 0,3	6,0 \pm 0,2	185 390,9
1,5	10,8 \pm 0,3	6,3 \pm 0,2	36 622,7
2,0	10,0 \pm 0,3	5,8 \pm 0,2	11 588,7
2,5	10,4 \pm 0,3	6,0 \pm 0,2	4747,3
3,0	10,1 \pm 0,3	5,9 \pm 0,2	2289,7
3,5	9,6 \pm 0,3	5,6 \pm 0,2	1236,1
4,0	12,6 \pm 0,4	7,3 \pm 0,3	724,7
5,0	7,5 \pm 0,2	4,4 \pm 0,2	297,0
6,0	6,9 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	143,3
7,1	4,5 \pm 0,2	2,6 \pm 0,1	73,1
8,0	3,3 \pm 0,1	1,92 \pm 0,08	45,4
9,1	2,05 \pm 0,07	1,19 \pm 0,05	27,1
10,0	1,49 \pm 0,05	0,87 \pm 0,04	18,6
12,0	0,77 \pm 0,03	0,45 \pm 0,02	9,0
14,2	0,26 \pm 0,02	0,15 \pm 0,01	4,6
17,1	11,0 \pm 0,1	6,4 \pm 0,2	2,2
19,9	0,36 \pm 0,02	0,21 \pm 0,01	1,2

Tabelle 5: Messwerte und Streuquerschnitte der 4 μm -Folie.

$\varphi / ^\circ$	Counts / 1/s	$\frac{d\sigma}{d\Omega} / 10^{-24}/\text{m}^2$	$\frac{d\sigma}{d\Omega_{\text{theo}}} / 10^{-24}/\text{m}^2$
-0,6	5,8 \pm 0,2	1,68 \pm 0,07	143 043,9
0,0	5,3 \pm 0,1	1,54 \pm 0,06	999 999,9
0,5	5,5 \pm 0,2	1,60 \pm 0,06	296 614,1
0,9	5,5 \pm 0,2	1,59 \pm 0,06	28 256,2
1,6	5,7 \pm 0,2	1,67 \pm 0,06	2829,1
2,0	5,8 \pm 0,2	1,68 \pm 0,06	1158,9
2,4	6,0 \pm 0,2	1,73 \pm 0,06	558,9
2,9	5,7 \pm 0,2	1,65 \pm 0,06	262,2
3,5	5,7 \pm 0,2	1,67 \pm 0,06	123,6
4,0	5,5 \pm 0,2	1,59 \pm 0,06	72,5
5,0	5,0 \pm 0,2	1,46 \pm 0,06	29,7
10,1	2,51 \pm 0,09	0,73 \pm 0,03	1,8

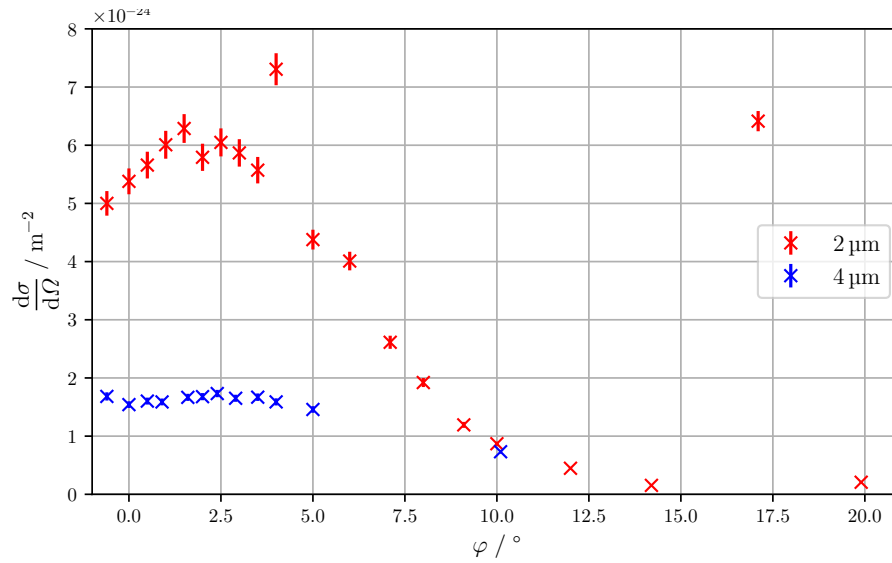


Abbildung 7: Rutherford Wirkungsquerschnitt.

4.5 Mehrfachstreuungen

In Abbildung 8 sind die Counts für verschiedene Foliendicken bei einem Winkel von 0° gegen die Foliendicke aufgetragen. Die Werte stehen in Tabelle 6.

Tabelle 6: Messwerte für verschiedene Foliendicken.

$x / \mu\text{m}$	$t_{\text{int}} / \text{s}$	Counts	$\frac{\text{Counts}}{\text{s}}$	$\frac{d\sigma}{d\Omega} [1/\text{m}^2]$
0	100	1610 ± 40	$16,1 \pm 0,4$	\pm
2	100	924 ± 30	$9,24 \pm 0,3$	85 ± 3
4	240	1271 ± 36	$5,3 \pm 0,2$	$24,2 \pm 0,9$

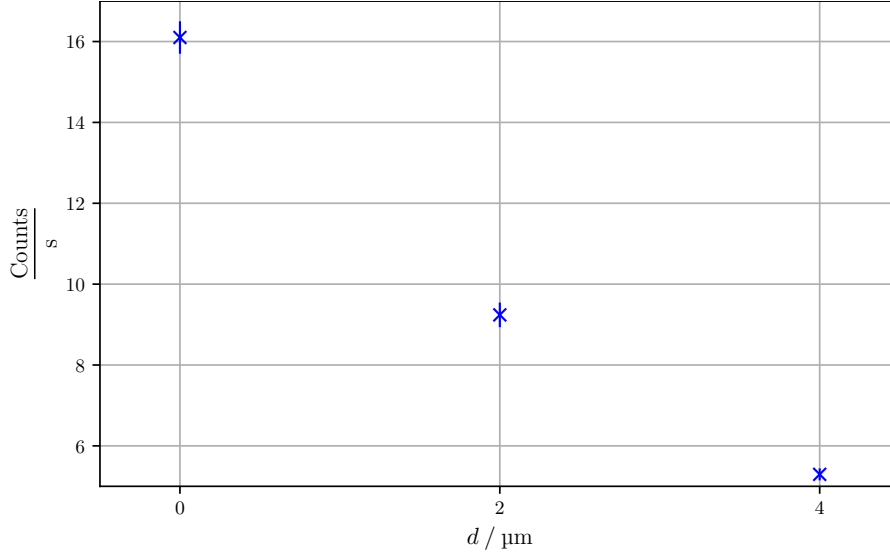


Abbildung 8: Plots der Mehrfachstreuungen.

4.6 Z-Abhängigkeit der Streumaterialien bei einem großen Winkel

Die Z-Abhängigkeit der Streumaterialien wurde bestimmt, indem die Ordnungszahl Z gegen den Quotienten $\frac{I}{N \cdot x}$ bei einem Winkel von 20° aufgetragen wird. Dabei ist I die Intensität der α -Teilchen in der Einheit

$$[I] = \left[\frac{\text{Counts}}{\text{Zeiteinheit}} \right], \quad (49)$$

N ist die Anzahl der Streuzentren, welche sich aus der Teilchendichte des Materials bestimmt, und x ist die Dicke der Streufolie. Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 7 aufgetragen.

Der Fehler auf die Intensität ist aus der Poissonverteilung kommend

$$\Delta I = \sqrt{I}, \quad (50)$$

erst danach wird durch die Integrationszeit geteilt. Δt ist die Integrationszeit. Der mit diesen Daten entstandene Plot ist in Abbildung 9 abgebildet.

Tabelle 7: Parameter für die Messung der Z-Abhängigkeit.

Parameter	Material		
	Al	Au	Bi
ρ [g/cm ³]	2.7	19.32	9.80
M_{mol} [g/mol]	27	197	209
N 1/m ³	$6,022 \cdot 10^{28}$	$5,906 \cdot 10^{28}$	$2,824 \cdot 10^{28}$
x [μm]	3	4	2
Z	13	79	83
I [1/s]	$0,023 \pm 0,009$	$0,20 \pm 0,03$	$0,027 \pm 0,009$
Counts	7	61	8
t[s]	300	300	300
$I/N \cdot x$ [10 ⁻²⁵ m ² /s]	$1,3 \pm 0,5$	9 ± 1	5 ± 2

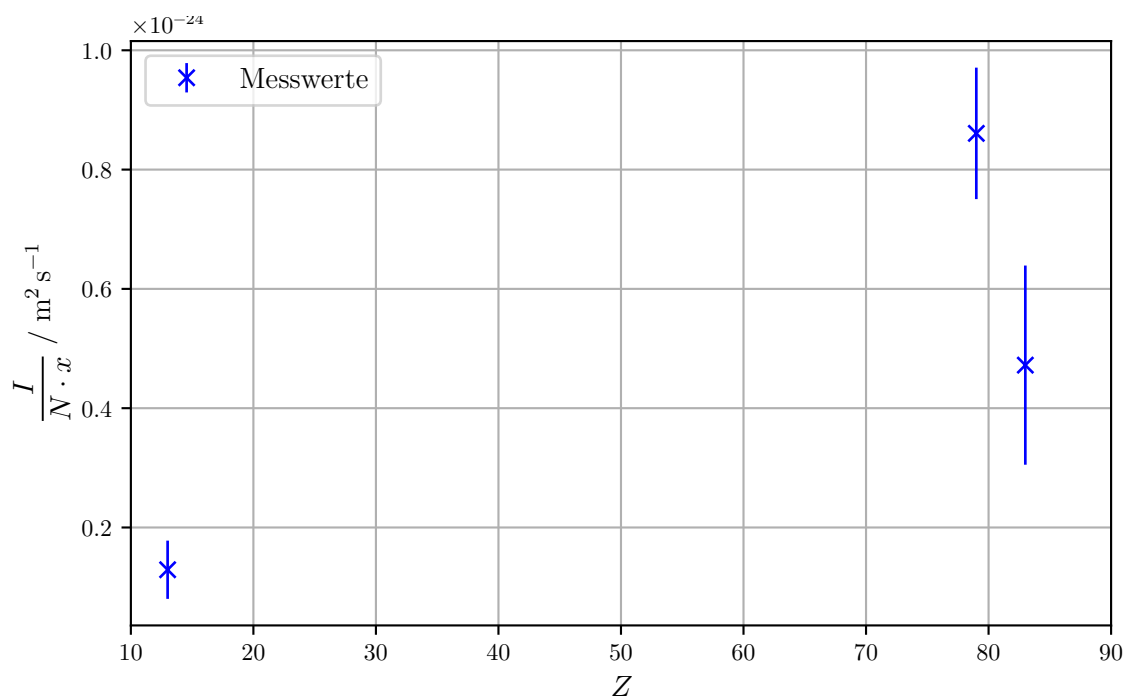


Abbildung 9: Z-Abhängigkeit der Streumaterialien.

5 Diskussion

Die erste Messung zeigt deutlich den erwarteten Einfluss eines vorgeschalteten Verstärkers. Ohne Verstärker sieht man eine instantane Änderung des Signals, welches dann abklingt. Dies liegt am Detektor in dem Nachentladungen entstehen können. Bei einem vorgeschalteten Verstärker steigt das Signal sichtbar langsamer an, es ist also nicht sehr scharf. Dies liegt an den elektronischen Komponenten, vor allem den Spulen im Gerät. Die Impulshöhe ohne Verstärker ist sichtbar kleiner als die mit Verstärker.

Die Messung des Energieverlustes führt auf eine Foliendicke von $(3,5 \pm 0,7) \mu\text{m}$, was in der Größenordnung der tatsächlichen Dichte von $2 \mu\text{m}$ liegt, aber knapp außerhalb der doppelten Fehlerreichweite. Mit Messungen bei weiteren Winkeln und längeren Integrationszeiten

Die Messung kann mit einer längeren Integrationszeit und einer feineren Winkelauflösung verbessert werden. Der Wert bei $\varphi = 17,1^\circ$ passt nicht zu den anderen. Hier liegt eine unbekannte externe Störung vor, da das Phänomen in einigen Probemessungen auch beobachtet werden konnte. Auch die Berechnung der Flugstrecke der α -Teilchen in Luft liefert ein vernünftiges Ergebnis.

Die Messung der Mehrfachstreuungen an verschiedenen dicken Goldfolien zeigt, dass die Intensität mit der Dicke der Goldfolien abnimmt, was die Theorie einer Mehrfachstreuung an den verschiedenen Schichten der Folie bestätigt.

Bezüglich der Z-Abhängigkeit der Streumaterialien ist keine Aussage zu machen. Zu erwarten ist, dass mit größerem Z die Intensität kleiner wird, da es wesentlich mehr Streuzentren gibt, an welchen die α -Teilchen ihre Energie abgeben können. Wir haben den "großen" Winkel von 20° gewählt, da bei noch größeren Winkel die Intensität ziemlich genau Null war. Wir haben testweise für 300 s gemessen um zu schauen wie viele Counts wir erhalten und haben schnell festgestellt, dass wir mit dieser Zeit nur sehr wenige Counts erhalten und die Messzeit um einige Größenordnungen höher sein müsste um die Unsicherheit gering zu halten. Demnach ist unsere Messung nicht sehr aussagekräftig, aufgrund der kleinen Statistik.

Literatur

- [1] URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/drehschieberpumpe/3351> (besucht am 11.05.2019).
- [2] Constants (scipy.constants). URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/constants.html> (besucht am 15.06.2019).
- [3] TU Dortmund. Versuchsanleitung V16. 2019. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/864864/mod_resource/content/1/V16.pdf.

- [4] Energie und Reichweite von Strahlung. URL: https://www.uni-potsdam.de/u/phys_gprakt/html/projekte/kernstrahlung/kernstrahlung_20.pdf (besucht am 15.06.2019).
- [5] Bogdan Povh u. a. Teilchen und Kerne. Eine Einführung in die physikalischen Konzepte. 9. Aufl. Springer Spektrum, 2013.
- [6] Rutherford Streuung. URL: <http://www.semibyte.de/wp/download/physics/versuchsprotokolle/f-praktikum-protokolle/311-rutherford-streuung.pdf> (besucht am 16.06.2019).
- [7] IAEA Nuclear Data Section. (Besucht am 11.05.2019).

c) mit ^{239}Au	2 μm -Folies	ohne Folie			
p [mbar]	max. Amplitude [mV]	min			
0,040	3,82 V	2,48 V	0,06	4,6	3,64
0,17	3,82 V	2,36			
0,20	3,84 V	2,42			
0,32	3,84	2,26			
0,39	3,82	2,25			
0,50	3,72	2,38			
0,65	3,70	2,32			
0,79	3,78	2,20			
0,94	3,74	2,10			
2,1	3,66	2,14			
3,2	3,68	2,3			
4,4	3,7	2,220			
5,3	3,58	2,32			
6,2	3,62	2,14	6,0	4,6	3,56
7,7	3,74	2,20			
8,3	3,60	2,20			
9,2	2,04 3,56	2,04			
20	3,42	2,14	10	4,60	3,56
27,8	3,40	2,14	20,1	4,56	3,36
30,1	3,42	2,08	29,4	4,48	3,24
40,0	3,12	1,88	39,3	4,32	3,24
49,9	3,28	1,96	57,4	4,76	3,72
59,0	2,52	1,08	17,9	3,64	2,60
148,7	1,66	0,86	148,4	2,92	1,66
197,7	0,772 0,936	0,772	198,7	2,22	1,02

Nullmessung	ohne Folie				
p = 0,05 mbar					
2 μm Folie	Counts	T [s]	4 μm Folie	p = 0,038 mbar	Gold
0°	924	100	-0,6°	867	4 μm
1°	1032	100	0°	1277	2000 3000 0,02 mbar
2°	995	100	0,5	1327	67
3°	1008	100	0,9	1309	Aluminium 3 μm 3000
4°	1255	100	1,6	1374	7
5°	792	1128 150	2,0	1384	Bismut 2 μm 0,1 mbar
6°	1033	150	2,4	1428	8
7,1°	808	180	2,9	1367	
8,0°	980	300	3,5	1147	
9,1°	820	400	4,0	1146	
10,0°	896	600	5,0	1102	
12,0°	615	800	10,0	754	
14,0°	277	800	15,0		
17,1°	8814	800	20,0		
19,9°	285	800			
3,6°	957	100			
2,5°	1039	100			
7,5°	1080	100			
0,5°	972	100			
-9,6°	859	100			

Mw 6.5.19