



BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM

---

# Rutherford Streuung von $\alpha$ -Teilchen

---

*Verfasser:*

Henrik JÜRGENS

Frederik STROTHMANN

*Tutoren:*

Max MUSTERMANN

Max MUSTERMANN

**Abstract:**

Ziel des Versuches ist es, die Wechselwirkung von  $\alpha$ -Teilchen mit Materie zu untersuchen.

Die Aspekte Streuwinkel, Reichweite, Kernladung und Absorptionsverhalten werden thematisiert.

Dies	ist	ein
Platz-	halter	für
die	bewertungs	Tabelle

31. August 2015

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>2</b>
2.1	Wirkungsquerschnitt . . . . .	2
2.2	$\alpha$ -Strahlung . . . . .	2
2.3	Rutherford-Streuung . . . . .	3
2.4	Energieverlust von $\alpha$ -Teilchen in Materie . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Rutherford-Streuversuch</b>	<b>5</b>
4.1	Versuchsdurchführung . . . . .	5
4.2	Auswertung . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Rückstreuung von <math>\alpha</math>-Teilchen</b>	<b>5</b>
5.1	Versuchsdurchführung . . . . .	5
5.2	Auswertung . . . . .	5
<b>6</b>	<b>Bestimmung der Kernladungszahl von Aluminium</b>	<b>6</b>
6.1	Versuchsdurchführung . . . . .	6
6.2	Auswertung . . . . .	6
<b>7</b>	<b>Reichweitenbestimmung</b>	<b>6</b>
7.1	Versuchsdurchführung . . . . .	6
7.2	Auswertung . . . . .	7
<b>8</b>	<b>Energieverlust von <math>\alpha</math>-Strahlung in Luft</b>	<b>7</b>
8.1	Versuchsdurchführung . . . . .	7
8.2	Auswertung . . . . .	7
<b>9</b>	<b>Absorptionsverhalten von Aluminium und Papier</b>	<b>8</b>
9.1	Versuchsdurchführung . . . . .	8
9.2	Auswertung . . . . .	8
<b>10</b>	<b>Fazit</b>	<b>8</b>

# 1 Einleitung

In diesem Versuch soll die Streuung von  $\alpha$ -Teilchen mit Materie untersucht werden. Die Rutherford'sche Streuformel soll experimentell verifiziert und der Energieverlust von  $\alpha$ -Teilchen in Materie untersucht werden. Dieser kann durch die Bethe-Formel und die Bragg-Kurve beschrieben werden. Für die Erzeugung von  $\alpha$ -Strahlung ( ${}^4_2\text{He}$ -Kerne) werden verschiedene radioaktive Präparate verwendet, welche an unterschiedlichen Targets gestreut werden. Für die Überprüfung der Rutherford'schen Streuformel wird zuerst eine dünne Goldfolie bestrahlt und in einem kleinen Winkelbereich um  $0^\circ$  gemessen, sowie die Rückstreuung der  $\alpha$ -Teilchen qualitativ ausgewertet. Anschließend soll die Kernladungszahl von Aluminium bestimmt werden, indem der Versuch mit einem Aluminiumtarget (Alu-Folie) wiederholt und mit den Daten zum Goldtarget verglichen wird. Um die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Materie

## 2 Theorie

Die wichtigsten Grundkenntnisse für diesen Versuch werden im folgenden kurz erläutert.

### 2.1 Wirkungsquerschnitt

Der Wirkungsquerschnitt ist eine wichtige Größe um Streuprozesse zu analysieren und zu verstehen. Er gibt die Reaktionswahrscheinlichkeit normiert auf die Anzahl der Targetteilchen pro Flächeneinheit an,

$$\sigma = \frac{w}{\frac{N_T}{F}} \quad (1)$$

wobei

$$w = \frac{N_{\text{Reaktion}}}{N_{\text{Gesamt}}} = \frac{I_{\text{gestreut}}}{I_{\text{einfallend}}} \quad (2)$$

die Reaktionswahrscheinlichkeit, also der Anteil der gestreuten/wechselwirkenden Teilchen an der Gesamtteilchenzahl bzw. der Anteil des Stromes der einfallenden Teilchen am Strom der gestreuten Teilchen, ist. (vgl. [1])

Da im Versuchsaufbau nur ein gewisser Raumwinkel  $\Delta\Omega$  vermessen wird, ist es sinnvoll mit dem differentiellen Wirkungsquerschnitt  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  zu arbeiten, welcher die Wahrscheinlichkeit angibt, das gestreute Teilchen in einem kleinen Winkelbereich  $d\Omega$  zu finden.

### 2.2 $\alpha$ -Strahlung

$\alpha$ -Strahlung entsteht durch den spontanen Zerfall eines schweren Kernes, wobei ein  ${}^4_2\text{He}$ -Kern emittiert wird. Bei diesem Prozess wird die Coulomb-Barriere des Kernes durchtunnelt, sodass die potentielle Energie des Kernes in kinetische Energie umgewandelt wird. Die Spallationswahrscheinlichkeit ist bei schweren Kernen größer, da die Bindungsenergie pro Nukleon bei diesen

abnimmt. Die in diesem Versuch verwendeten Präparate sind Ameritium und Radium, deren Eigenschaften in Tabelle 1 dargestellt werden:

Isotop	$\tau/a$	E/MeV	Zerfall
$^{241}_{95}\text{Am}$	432,2	5,486	$^{237}_{93}\text{Np}$
$^{226}_{88}\text{Ra}$	1602	4,871	$^{222}_{86}\text{Rn}$

Tabelle 1: Eigenschaften der  $\alpha$ -Strahler

(vgl. [2] und [4])

## 2.3 Rutherford-Streuung

Die Streuung von geladenen Teilchen am Coulomb-Potential wird mit der Rutherfordschen Streuformel, welche den differentiellen Wirkungsquerschnitt für diese Art von Streuung charakterisiert. Die genaue Herleitung kann man z.B. dem Buch [5] entnehmen. Die Streuformel beschreibt die Warscheinlichkeit, ein gestreutes Teilchen im Raumwinkelement  $d\Omega$  zu finden.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{16\pi\epsilon_0 E_0} \right)^2 \frac{1}{\sin^4(\frac{\theta}{2})} \quad (3)$$

$Z_i$	Kernladung des Targets/Projektils
$e$	Elementarladung
$\epsilon_0$	Elektrische Feldkonstante
$E_0$	Energie des Teilchens vor der Wechselwirkung
$\theta$	Streuwinkel

Die angegebene Formel hat bei  $\theta = 0$  einen Pol 4. Ordnung, sodass für die Berechnung des totalen Wirkungsquerschnittes ein minimaler Streuwinkel  $\theta_{min}$  angenommen werden muss. Dieser ergibt sich aus dem maximalen Stoßparameter  $\rho_{max}$ , welcher mit dem Kernradius abgeschätzt werden kann. In diesem Versuch soll ausschließlich Formel 3 überprüft werden.

## 2.4 Energieverlust von $\alpha$ -Teilchen in Materie

Der Energieverlust von  $\alpha$ -Teilchen in Materie kann mit der Braggkurve, welche den Energieverlust in Abhängigkeit von der zurückgelegten Weglänge im Medium angibt, sowie mit der Bethe Formel, welche den Energieverlust pro Weglängenelement  $dx$  in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Teilchens angibt, beschrieben werden. Die Bethe-Formel in der relativistischen Form lautet:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n Z^2}{m_e c^2 \beta^2} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2}{I(1-\beta^2)} \right) - \beta^2 \right] \quad (4)$$

$\beta$	$\frac{v}{c}$
$v$	Momentane Geschwindigkeit des Teilchens
$c$	Lichtgeschwindigkeit
$E$	Energie des Teilchens
$x$	Weglänge
$Z$	Kernladungszahl
$\varepsilon_0$	elektrische Feldkonstante
$e$	Elementarladung
$n$	Elektronendichte des Materials
$m_e$	Ruhemasse des Elektrons
$I$	mittleres Anregungspotential des Material

(vgl. [3]) Die Bethe Formel ist in Abb. ?? für Aluminium doppelt logarithmisch dargestellt, wobei genauere Details materialabhängig sind. Die Bragg-Kurve ist in Abb. ?? für das Material ?? dargestellt. Das Maximum der Bragg-Kurve ist näherungsweise gleichzusetzen mit der Reichweite des Teilchens, da der Energieverlust kurz danach auf Null absinkt.

### 3 Versuchsaufbau

Für den Versuch wird eine Rutherford-Streukammer verwendet, eine schematische Skizze ist in Abb. 3 zu sehen. Die Streukammer besteht aus einer Vakuumkammer, mit durchsichtigem Deckel. Ein Barometer, ein Belüftungsventil und ein Ventil mit Anschluss an die Vakuumpumpe sind an den Absperrhahn (3) angeschlossen. Der Halbleiterdetektor mit Kollimator (12,12.1) ist von innen an einer BNC-Buchse (2.1) montiert. Von außen ist ein Vorverstärker angeschlossen, die Daten werden von einem Digitalzähler, der an einen Computer angeschlossen ist ausgelesen (siehe Abb. 2). Der Deckel der Streukammer hat einen Schwenkarm (7), an dem das  $^{241}\text{Am}$ -Präparat (7.1), verschiedene Rahmen mit Spaltkollimatoren (9) und Metallfolien (10) angebracht werden können. Über einen Knopf (4) ist der Schwenkarm drehbar, der Winkel ist dabei über eine Skala (8) ablesbar. Zur Verfügung stehen Spalte mit 1m und 5mm Breite sowie eine Goldfolie mit  $2\mu\text{m}$  und eine Aluminiumfolie mit  $7\mu\text{m}$  Dicke.

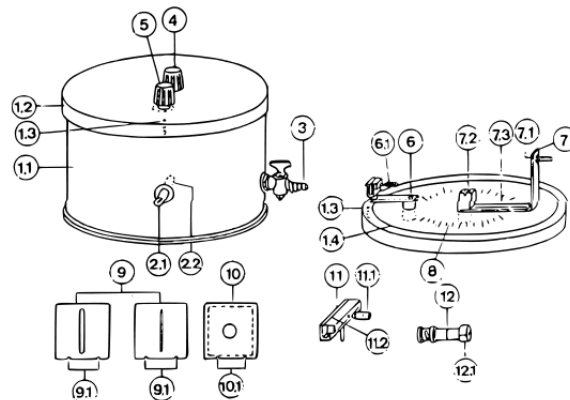


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Streukammer

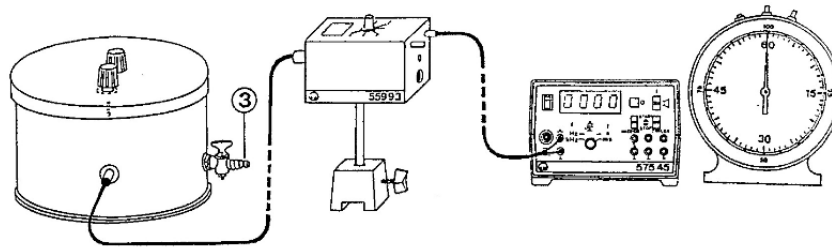


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Versuchsaufbaus

## 4 Rutherford-Streuversuch

In diesem Versuchsabschnitt soll die Streuung von  $\alpha$ -Strahlung an Goldfolie untersucht werden.

### 4.1 Versuchsdurchführung

Es soll die Streuung von  $\alpha$ -Teilchen an Goldfolie in einem Winkelbereich von  $-30^\circ$  bis  $30^\circ$ , in  $5^\circ$ -Schritten untersucht werden. Neben der Goldfolie wird noch der Kollimator mit einer Spaltbreite von 1mm eingesetzt. Die Messdaten werden mit dem Computer aufgenommen. Für jeden Winkel wurde für einen Zeitraum von ??s gemessen.

### 4.2 Auswertung

In Abb. ?? sind die Messdaten mit dem Fit der Rutherfordstreuformel zu sehen. Die Rutherfordstreuformel wurde nach GL. ?? gefittet. Dabei ergaben sich für den Fit die Werte in Tabelle ??.

## 5 Rückstreuung von $\alpha$ -Teilchen

Es soll qualitativ die Rückstreuung von  $\alpha$ -Teilchen untersucht werden.

### 5.1 Versuchsdurchführung

Die Goldfolie wird ohne Spalt in die Kammer eingesetzt und ein Winkel von  $150^\circ$  eingestellt. Da eine sehr geringe Zählrate erwartet wird, über einen Zeitraum von einer Stunde gemessen und der Digitalzähler im COUNTS Modus ohne Computer betrieben.

### 5.2 Auswertung

Über den Zeitraum von ?? Minuten wurden ?? Counts gemessen, dies entspricht einer Rate von ?? Counts/s.

## 6 Bestimmung der Kernladungszahl von Aluminium

Es soll die Kernladungszahl von Aluminium bestimmt werden. Die Winkelverteilung der Zählraten soll mit denen der Goldfolie verglichen werden.

### 6.1 Versuchsdurchführung

Die Aluminiumfolie und der 1mm Spalt werden eingesetzt. Dann werden die Zählraten für verschiedene Winkel über einen Zeitraum von ??s aufgenommen.

### 6.2 Auswertung

Die Kernladungszahl wird mit zwei verschiedenen Methoden bestimmt. In der ersten Methode wird die Rutherfordstreuformel (Gl. ??) an die Zählraten gefittet. Dabei entspricht der Parameter  $Z_2$  der Kernladungszahl von Aluminium. Die Messdaten mit dem Fit sind in Abb. ?? zu sehen. Für den Fit ergaben sich die Werte in Tabelle ??.

Für die zweite Methode wird Gl. ?? verwendet, dabei werden für die festen Parameter die Werte in Tabelle ?? verwendet.

Tabelle 2: Werte der festen Parameter für die Bestimmung der Kernladungszahl von Aluminium nach Gleichung ??

Parameter	Wert
$Z_{Au}^2$	79
$d_{Au}$	2 [ $\mu\text{m}$ ]
$d_{Al}$	7 [ $\mu\text{m}$ ]
$\dot{N}_{Au}$	
$\dot{N}_{Al}$	

## 7 Reichweitenbestimmung

Es soll die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung bei Normaldruck untersucht werden.

### 7.1 Versuchsdurchführung

Es werden keine Metallfolien oder Kollimationsspalte verwendet. Der Schwenkarm wird auf  $0^\circ$  eingestellt. Da der Abstand zwischen Dem  $^{241}\text{Am}$ -Präparat und der Quelle nicht veränderbar ist, kann die Abstandsabhängigkeit nicht direkt bestimmt werden. Stattdessen wird die Zählrate in Abhängigkeit des Luftdrucks aufgenommen. Da die Reichweite linear mit Anzahl der Stöße mit den Luftmolekülen abhängt, hängt die Reichweite unter Annahme des idealen Gasesetzes auch linear von Druck ab. Daraus lässt sich für die Reichweite unter Normaldruck Gl. 5 folgern.

$$x_{Normal} = x_{Messung} \frac{p_{Messung}}{p_{Normal}} \quad (5)$$

Der Druck wird solange in Schritten von ?? erhöht, bis die Countrate auf 0 abfällt. Mit dem Zusammenhang, aus Gl. 5 kann die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft bestimmt werden.

## 7.2 Auswertung

# 8 Energieverlust von $\alpha$ -Strahlung in Luft

In diesem Versuchsabschnitt soll der Energieverlust von  $\alpha$ -Strahlung in Luft, bei Normaldruck untersucht werden.

## 8.1 Versuchsdurchführung

Da wie zuvor der Abstand zwischen dem Präparat und dem Detektor nicht variierbar ist, wird der Druck variiert. Die Spektroskopiekammer wird evakuiert. Dann werden der Verstärker und der ACD so eingestellt, so dass das  $^{226}\text{Ra}$ -Spektrum deutlich zu erkennen ist. Da im Bereich von niedrigen Energien ein starker Untergrund vorhanden ist muss die Einstellschraube LLD am ADC so eingestellt werden, dass der Untergrund möglichst gut raus gefiltert wird. Dann wird eine Kanal-Zeit-Eichung mit der Zerfallsreihe von  $^{266}\text{Ra}$  durchgeführt. Die Zerfallsreihe ist in Abb. ?? zu sehen.

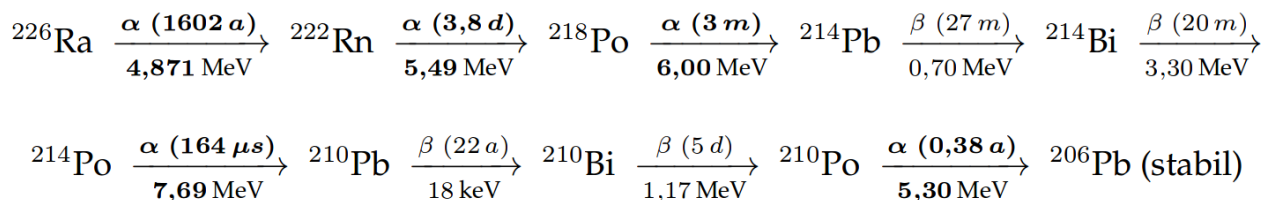


Abbildung 3: Zerfallsreihe von  $^{266}\text{Ra}$ , entnommen von ??

Die Kammer wird langsam belüftet und Spektren im Bereich von 100 Torr bis 800 Torr in 25 Torr Schritten aufgenommen, wobei der Druck während der Messung konstant gehalten wird. Ein Bar entspricht 750.061683 Torr. Nach Gl. 5 kann die Strecke mit erhöhtem Druck in die Strecke unter Normaldruck umgerechnet werden. Aus den Countrates in Abhängigkeit des Drucks kann der absolute Energieverlust und der Energieverlust pro Wegstück bei Normaldruck bestimmt werden. Für den Energieverlust pro Wegstück wird ein Verhalten nach Gl. ?? erwartet. Die Peaks der Spektren werden mit der Voigt-Verteilung gefittet.

## 8.2 Auswertung

In Abb. ?? sind die Messdaten mit dem Fit der Rutherfordstreuformel zu sehen. Die Rutherfordstreuformel wurde nach Gl. ?? gefittet. Dabei ergaben sich für den Fit die Werte in Tabelle



??.

## 9 Absorptionsverhalten von Aluminium und Papier

In diesem Versuchsabschnitt soll das Absorptionsverhalten von Aluminium und Papier untersucht werden.

### 9.1 Versuchsdurchführung

Es wird der selbe Aufbau wie in Abschnitt ?? verwendet. Zwischen Quelle und Detektor werden Papier bzw. Aluminium gelegt um die Absorption zu untersuchen. Zur Verfügung stehen Papier mit  $103\mu\text{m}$  und  $??\mu\text{m}$ , sowie Aluminiumfolie mit einer Dicke von  $13\mu\text{m}$ .

### 9.2 Auswertung

## 10 Fazit

## Literatur

- [1] [http://erlangen.physicsmasterclasses.org/exp\\_stoss/stoss\\_streu\\_4.html](http://erlangen.physicsmasterclasses.org/exp_stoss/stoss_streu_4.html).
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/americium>.
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/bethe-formel>.
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/radium>.
- [5] L.D.Landau E.M.Lifschitz. *Lehrbuch der Theoretischen Physik, I Mechanik*.