



FACHBEREICH MATHEMATIK UND NATURWISSENSCHAFTEN  
FACHGRUPPE PHYSIK  
BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

## **RUTHERFORD-Streuung und Reichweite von $\alpha$ -Strahlung**

**FP I-7**

**Versuch des Fortgeschrittenenpraktikums  
für Physiker**

In diesem Versuch soll die Wechselwirkung von  $\alpha$ -Strahlung mit Materie untersucht werden. Der Versuch ist unterteilt in zwei Teilexperimente, die in getrennten Aufbauten durchgeführt werden.

Ein Teilexperiment thematisiert die RUTHERFORDSTREUUNG, die Streuung von  $\alpha$ -Teilchen an Atomkernen, die eine mitunter starke Richtungsänderung der  $\alpha$ -Teilchen bewirken kann. Beschrieben wird diese Richtungsänderung durch die RUTHERFORDSCHE STREUFORMEL, die die Streuwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Streuwinkels angibt.

Das andere Teilexperiment behandelt den Energieverlust der  $\alpha$ -Teilchen, der aus Stößen mit den Hüllenelektronen des durchquerten Materials resultiert. Dabei wird das durchquerte Material ionisiert, die Richtung der  $\alpha$ -Teilchen jedoch praktisch nicht beeinflusst. Quantitativ beschrieben wird der Energieverlust durch die BETHE-FORMEL, die über einen großen Energiebereich eine gute Näherung darstellt. Eine ergänzende Beschreibung des Energieverlustes, die auch die Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen in Materie berücksichtigt, ist durch die BRAGG-KURVE gegeben.

Im Laufe des Versuchs wird der historische RUTHERFORDSCHE Streuversuch mit modernen Mitteln durchgeführt und ein wenig erweitert. Parallel dazu wird die Energieabgabe, und damit auch die begrenzte Reichweite, von  $\alpha$ -Teilchen in Materie untersucht.

Beide Versuchsteile basieren stark auf der Erstellung und Auswertung von Histogrammen. Daher werden im Rahmen des Versuchs nicht nur teilchenphysikalische Grundlagen erlernt, sondern auch allgemeingültig Grundlagen der Datenauswertung und Statistik an anschaulichen Beispielen angewendet.

Trotz ihres zum Teil zweifelhaften Rufes als wissenschaftliche Quelle stellt Wikipedia ein mächtiges Werkzeug dar, sich einen unbekannten Sachverhalt zu erschließen. Insbesondere in den Naturwissenschaften, die wenig Interpretations- und Deutungsspielraum lassen, ist dies zulässig. Anschließend sollte, wenn der Rahmen es erfordert – zum Beispiel in Abschlussarbeiten und Veröffentlichungen – mit Fachliteratur gearbeitet werden, und entsprechend auch diese zitiert werden.

## Literatur

- [1] Wikipedia deutsch, englisch
- [2] Einführung in Gnuplot, FP-Downloads BU-Wuppertal
- [3] A. C. Melissinos, *Experiments in Modern Physics*
- [4] R. D. Evans, *The Atomic Nucleons*
- [5] P. Marmier, *Kernphysik I*
- [6] P. Marmier & E. Sheldon, *Physics of Nuclei and Particles*
- [7] G. G. Eichholz & J. W. Poston, *Principles of Nuclear Radiation Detection*
- [8] J. D. Bjorken & S. D. Drell, *Relativistische Quantenmechanik*
- [9] D. C. Allkofer, *Teilchendetektoren*
- [10] H. Enge, *Introduction to Nuclear Physics*
- [11] H. Neuert, *Kernphysikalische Messverfahren*
- [12] D. Halliday, *Introductory Nuclear Physics*
- [13] K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*
- [14] C. Grupen, *Teilchendetektoren*

(Diese Literaturangaben stehen nur als Beispiele für eine große Anzahl an Standardwerken der Atom- und Kernphysik, sowie der Halbleiterphysik)

## Vorbereitung

- Computergestützte Auswertung von Messreihen und Histogrammen  
Darstellung, Fitten → siehe Tutorial auf der FP-Webpage → Downloads  
Verwenden Sie Gnuplot oder ein vergleichbares Programm
- Wechselwirkung von  $\alpha$ -Strahlung mit Materie. Speziell auch:  
Begriff des differentiellen und totalen Wirkungsquerschnitts  
RUTHERFORD-Streuung  
Energieverlust (BETHE-Formel, BRAGG-Kurve, empirische Energie-Reichweite-Beziehung von Geiger)
- Eigenschaften der im Versuch relevanten Häufigkeitsverteilungen  
Poisson-Verteilung  
Normalverteilung
- Grundlagen der Fehlerrechnung  
Gaußsche Fehlerfortpflanzung und ihre Grenzen  
Standardfehler und Fehler des Mittelwerts einer Verteilung  
 $\chi^2$ -Fit
- Zerfallsreihe von  $^{241}\text{Am}$  und  $^{226}\text{Ra}$

### Grundlagen der folgenden Punkte:

- Funktion von Ein- und Vielkanalanalysatoren  
Deadtime und Livetime eines Detektors, Pile Up
- Nachweis von  $\alpha$ -Strahlen mit Halbleiter Detektor
- Biologische Wirkung von  $\alpha$ -Strahlen. Speziell auch:  
zulässige Dosen  
Vorsichtsmaßnahmen (Abschirmung, Abstand)

**Hinweis: Bringen Sie einen USB-Stick zum Speichern der Daten mit!**

# 1 Versuchsbeschreibung

Für die Experimente mit  $\alpha$ -Strahlung stehen zwei unabhängige Versuchsanordnungen zur Verfügung. Die Versuche zur Rutherford-Streuung werden in der kleineren, orangen Kammer durchgeführt.

Für die Messung der Energie-Reichweite-Beziehung wird die größere, aus massivem Metall gefertigte Kammer verwendet.

Bei der Bedienung der Geräte ist folgendes zu beachten:

- Die radioaktiven Quellen werden ausschließlich vom Assistenten eingebaut!
- Möglichst nicht direkt in den Strahlengang der Quellen fassen und Sicherheitsvorschriften im Umgang mit radioaktiven Material beachten!
- Die Folien des RUTHERFORD-Experiments sind sehr empfindlich. Nicht berühren! Vor dem Evakuieren/Belüften Schwenkarm in 0°-Stellung bringen und Ventile nur wenig öffnen!

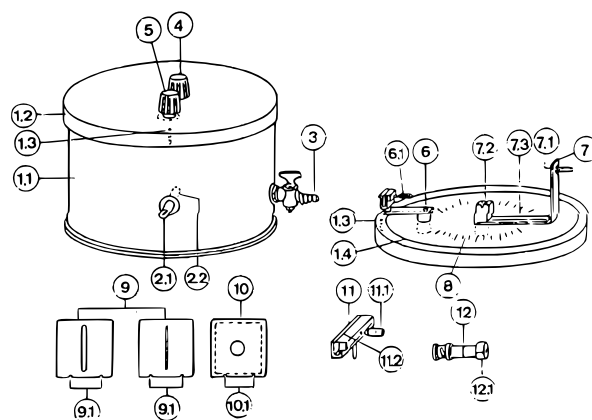
## 1.1 Beschreibung der RUTHERFORD-Streukammer

**Abbildung 1** zeigt den schematischen Aufbau der RUTHERFORD-Streukammer. Sie besteht aus einem Vakuumbehälter von etwa 19 cm Durchmesser und einem transparenten, abnehmbaren Deckel. An einem Absperrhahn (3) sind ein Barometer, ein Ventil zum Belüften sowie ein weiteres Ventil mit nachfolgender Vakuumpumpe zum Evakuieren angeschlossen.

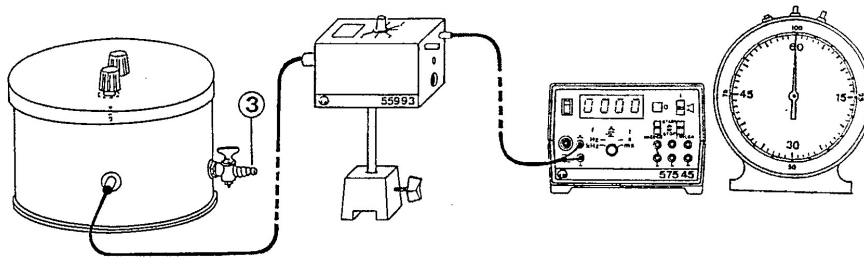
emph

Ein Halbleiterdetektor mit Kollimator (12, 12.1) ist von innen an einer BNC-Doppelbuchse (2.1) montiert. Außen ist ein Vorverstärker angeschlossen, die Auslese erfolgt über einen Digitalzähler, der an einen Computer angeschlossen ist (**Abbildung 2**).

Der transparente Deckel der Streukammer trägt einen Schwenkarm (7), an dem ein  $^{241}\text{Am}$ -Präparat (7.1) sowie verschiedene Rahmen mit Spaltkollimatoren (9) und Metallfolien (10) montiert werden können. Der Schwenkarm ist von außen (4) drehbar, eine Skala (8) erlaubt das Ablesen des Winkels. Der



**Abbildung 1:** RUTHERFORD-Streukammer. Rechts: Unterseite des Deckels



**Abbildung 2:** Elektrische Verbindung der RUTHERFORD-Streukammer

zweite Schwenkarm (6) wird in diesem Versuch nicht benötigt. Ihnen stehen Spalte von 1 mm und 5 mm Breite sowie eine Goldfolie mit 2  $\mu\text{m}$  und eine Aluminiumfolie mit 7  $\mu\text{m}$  Dicke zur Verfügung.

Bitte beachten Sie, dass jedes Einsetzen einer Folie einen Offset auf der Winkelskala verursacht. Das bedeutet, dass für eine Winkelabhängigkeitsmessung die Folienposition nicht verändert werden darf. Der Offset lässt sich einfach durch den Fit mitbestimmen und korrigieren. Beachten Sie insbesondere, dass Sie unterschiedliche Offsets für Aluminium und Gold haben werden. Für den Vergleich der Messungen und zur späteren Bestimmung der Kernladungszahl muss dieser unbedingt im Fit berücksichtigt werden.

### 1.1.1 Bedienung der Streukammer

Zum Evakuieren der Streukammer werden die beiden Ventile zum Entlüften und zur Vakuumpumpe zunächst geschlossen und die Pumpe eingeschaltet. Die Pumpe sollte während des gesamten Versuchs laufen. Das Ventil zur Pumpe wird anschließend vorsichtig geöffnet, sodass die Luft langsam aus der Kammer abgesaugt wird. Zum Belüften wird entsprechend das Ventil zur Pumpe geschlossen und das Belüftungsventil vorsichtig geöffnet.

Nach Beendigung aller Versuche sollte die Pumpe abgeschaltet werden und sämtliche Ventile geöffnet werden, da ansonsten das Öl der Pumpe in den Versuchsaufbau gesogen werden könnte.

**Wichtig:** Vermeiden Sie während der Messungen direkte Bestrahlungen des lichtempfindlichen Detektors, insbesondere durch Leuchtstofflampen. Decken Sie erforderlichenfalls die Kammer während der Messung mit einem schwarzem Tuch oder ähnlichem ab.




**Abbildung 3:** Digitalzähler (Abb. ähnlich)

### 1.1.2 Datennahme

Der Digitalzähler (Abbildung 3) verfügt über einen Knopf zum Starten und Stoppen der Messung. Bei gestoppter Messung kann der Operationsmodus eingestellt werden:

**COUNTS** zählt die Anzahl der registrierten Impulse. **RATE** ermittelt die Zählrate über einen Zeitraum von 1, 10 oder 60 s.

Der Digitalzähler ist mit einem PC zur weiteren Datenverarbeitung verbunden und kann mit dem Programm *Digitalzähler* (Abbildung 4) ausgelesen werden. Dazu wird am Zähler der **RATE**-Modus

eingestellt und im Programm  zum Starten / Stoppen der Messung angeklickt. Im Reiter *Poisson* wird die Zählrate tabellarisch und grafisch histogrammiert angezeigt. Nach erfolgter Messung kann über *Rechtsklick* → *Anpassung* → *Poisson* und anschließendem Ziehen der Maus mit gedrückter rechter Maustaste über alle zu berücksichtigenden Histogrammbalken eine Poisson-Kurve in die Messdaten eingepasst werden. Die dabei ermittelten Parameter der Poisson-Kurve werden am linken, unteren Rand angezeigt.

Beliebiger Text kann mittels *Rechtsklick* → *Textmarkierung einfügen* im Histogramm platziert werden. Die Parameter der letzten Poisson-Anpassung sind dabei voreingestellt.

Tabelle und Diagramm lassen sich per copy & paste z.B. in MS-Paint bzw. MS Editor einfügen und als Bild bzw. Textdatei speichern.

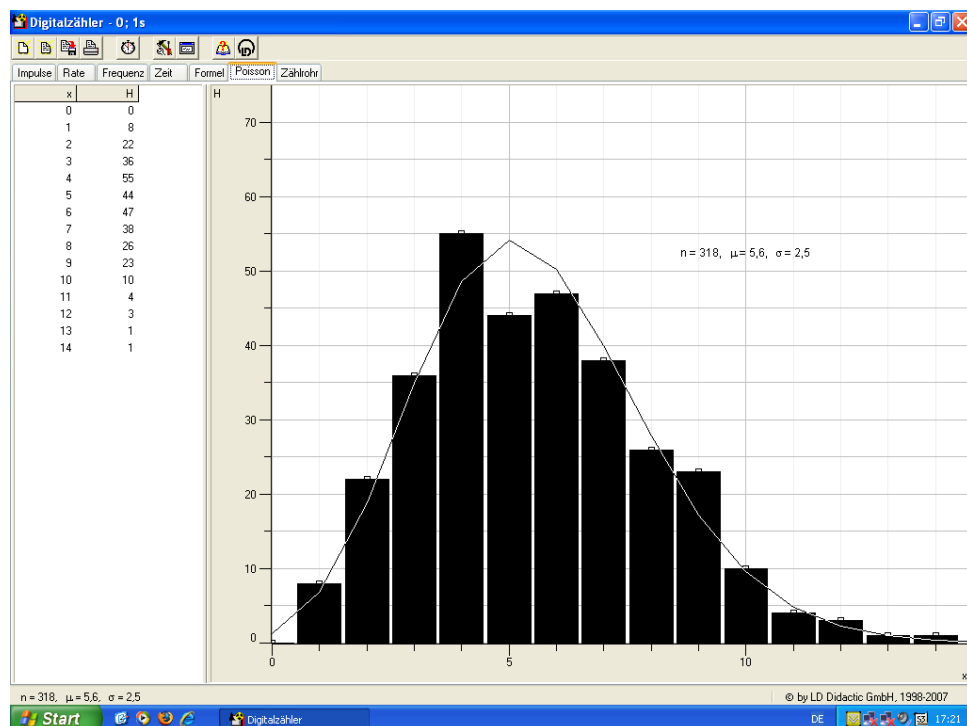
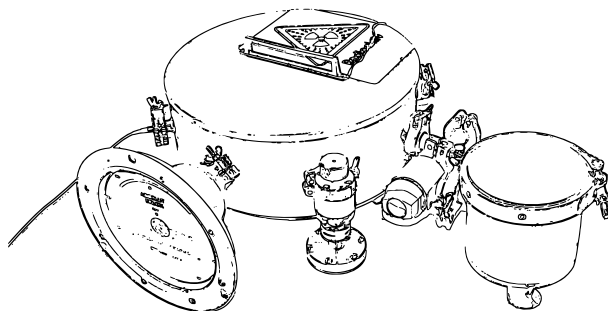
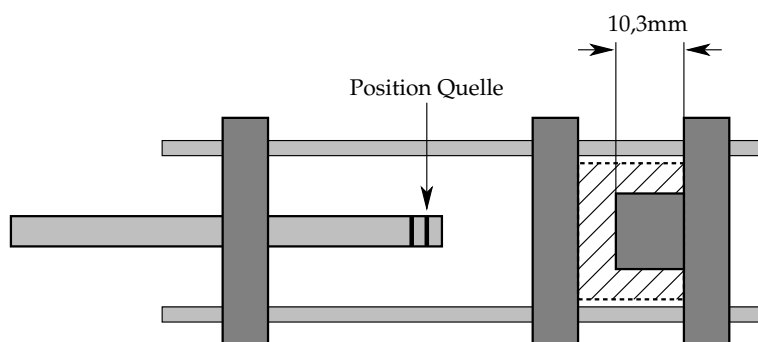


Abbildung 4: Programmoberfläche Digitalzähler mit Poisson-Verteilung



**Abbildung 5:** Spektroskopiekammer mit Kabeldurchgang (links), Barometer, Belüftungsventil und Kugelventil (mitte) mit nachfolgender Vorvakuumkammer (rechts)



**Abbildung 6:** Optische Mikrobank. Das  $^{226}\text{Ra}$ -Präparat befindet sich in Höhe des ersten Rings des Probenhalters, die Oberfläche des Detektors 10,3 mm vor dem hinteren Rahmen der Mikrooptischen Bank.

## 1.2 Beschreibung des Aufbaus zur $\alpha$ -Spektroskopie

Zur Untersuchung des Energiespektrums von  $\alpha$ -Strahlung steht eine aus massivem Metall gefertigte Vakuumkammer (Abbildung 5) zur Verfügung. Daran angeschlossen ist ein Kabeldurchgang, ein Barometer, ein Ventil zur Belüftung und ein (gelbes) Kugelventil mit nachfolgender Vorvakuumkammer zum Evakuieren.

Die Genauigkeit des Barometers nimmt unterhalb von etwa 50 Torr stark ab, der erreichbare Druck liegt bei etwa 6 Torr, während das Barometer nur Werte bis etwa 20 Torr anzeigt. Bei Werten über 50 Torr arbeitet das Barometer jedoch genau.

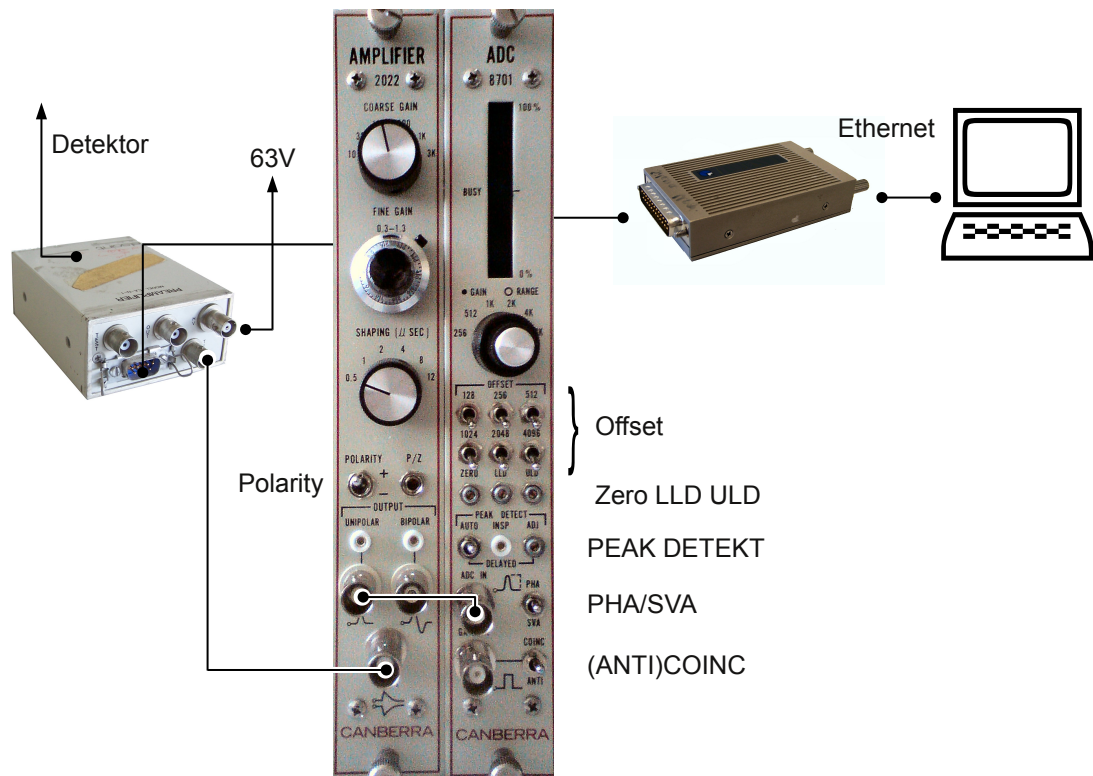
Im Inneren der Kammer befindet sich eine optische Mikrobank (Abbildung 6), diese trägt ein  $^{226}\text{Ra}$ -Stabpräparat und einen Halbleiterdetektor. Der Abstand der Oberfläche des Detektors zur vorderen Kante des hinteren Rahmens beträgt 10,3 mm, das Präparat befindet sich etwa in Höhe des vorderen Rings des Stabs.

Für den Versuch stehen Rahmen mit haushaltsüblicher Aluminiumfolie (13 m Dicke) sowie Papier (75 g/m<sup>2</sup>, 103 m Dicke und 25 g/m<sup>2</sup>, 103 m Dicke) zur Verfügung, die in die Mikrobank eingehängt werden können.

Die Signalverarbeitung geschieht über einen Vorverstärker, einen Verstärker, einen ADC<sup>1)</sup>, einen MCA<sup>2)</sup> und einen Computer (Abbildung 7).

<sup>1)</sup>Analog Digital Converter

<sup>2)</sup>MultiChannelAnalyser



**Abbildung 7:** Elektrische Verbindung der Spektroskopiekammer. Von links nach rechts: Vorverstärker, Verstärker, ADC, Multichannelanalyser

Der Vorverstärker wird vom Verstärker und von einem 63V Batteriepack mit Spannung versorgt.

Am Verstärker lässt sich ein grober Verstärkungsfaktor von 10; 30; 100; 300; 1000 oder 3000 sowie ein stufenloser zwischen 0,3 und 1,3 einstellen, darüber hinaus lässt sich als Shapingtime 0,5; 1; 2; 4; 8 und 12 s wählen.

Am ADC kann eine weitere Verstärkung eingestellt werden, sowie der dynamische Bereich (Maximaler Digitalwert). Über zwei Stellschrauben LLD<sup>3)</sup> und ULD<sup>4)</sup> lässt sich ein Amplitudenbereich einstellen, innerhalb dessen Signale digitalisiert werden. Signale mit niedrigerer oder höherer Amplitude werden vom ADC ignoriert.

Die im Versuch verwendeten Stellungen der Kippschalter sind in **Tabelle 1** aufgelistet.

Die Auslese des ADCs erfolgt mittels eines MCAs, der seine Betriebsspannung über eine Netzwerkschnittstelle<sup>5)</sup> erhält, die gleichzeitig als Interface zu einem PC dient.

<sup>3)</sup>Lower Level Discriminator

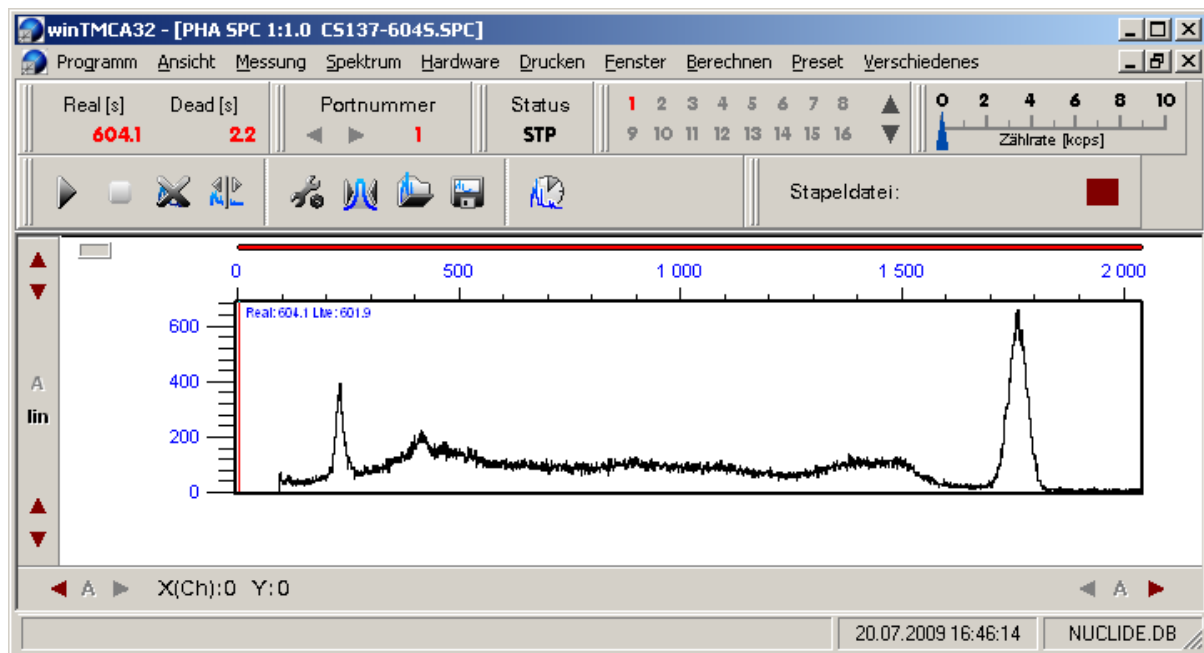
<sup>4)</sup>Upper Level Discriminator

<sup>5)</sup>Power over Ethernet



POLARITY	↑
OFFSET	↓
PEAK DETECT	↑
PHA/SVA	↑
(ANTI)COINC	(beliebig)

**Tabelle 1:** Standardeinstellung der Kippschalter für Verstärker und ADC



**Abbildung 8:** Programmoberfläche emphWinTMCA

### 1.2.1 Bedienung


Die Spannung des Batteriepacks sollte zunächst mit einem eingebauten Drehspulinstrument überprüft werden, sie sollte etwa 63 V betragen. Der Verstärker und ADC sollten nach **Tabelle 1** eingestellt werden, die richtige Verstärkung etc. sollten während des Versuchs empirisch herausgefunden werden.

Auf Grund leichter Undichtigkeiten bei Umgebungsdruck ist die Pumpe nicht in der Lage, die Kammer direkt zu evakuieren. Daher werden zunächst *beide* Ventile geschlossen und die Pumpe eingeschaltet. Nach wenigen Sekunden wird das gelbe Kugelventil geöffnet, wodurch sich die Kammer schlagartig abdichtet und evakuiert werden kann.

Nach Beendigung aller Versuche sollte die Pumpe abgeschaltet werden und sämtliche Ventile geöffnet werden, da ansonsten das Öl der Pumpe in den Versuchsaufbau gesogen werden könnte.

### 1.2.2 Datennahme (WinTMCA)

Die Verarbeitung der Daten geschieht mit dem Programm WinTMCA. Um WinTMCA mit dem MCA zu verbinden, wird im Menü *Spektrum* → *TCP-Spektrenauswahl...* die auf dem MCA vermerkte IP-Adresse eingegeben.

Um eine Messung mit festgelegter Messzeit unter Berücksichtigung der Totzeit des System durchzuführen, kann über  eine *Livetime* in Sekunden eingestellt werden. WinTMCA wird jede Messung automatisch nach Ablauf dieser Zeit stoppen.

Das Dateiformat (\*.SPC) von WinTMCA ist nur schlecht für die weitere Datenverarbeitung geeignet. Auf dem Desktop befindet sich ein Python<sup>6)</sup>-Script `convert.py`, das in den Ordner mit den aufgenommenen Spektren kopiert und ausgeführt werden kann. Es erzeugt zu jeder \*.SPC-Datei eine \*.csv-Datei, in der spaltenweise Kanalnummer, Anzahl der Einträge und deren Fehler  $\sqrt{n}$  eingetragen sind. Diese Dateien können mit den üblichen Programmen verarbeitet werden.

## 2 Versuchsdurchführung

Untersuchen Sie mit der Rutherford-Streukammer die Winkelabhängigkeit der Streuung von  $\alpha$ -Strahlung an Gold- und Aluminiumfolie und die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft sowie mit der Spektroskopiekammer den Energieverlust in Luft und qualitativ die Abschirmungseigenschaften von Aluminium und Papier.

Da beide Versuchsteile relativ zeitintensiv sind, sollten Sie beide Versuchsteile parallel durchführen!

### 2.1 RUTHERFORD-Streuversuch

Dieser Teil enthält neben den Durchführungsanweisungen einige KOMMENTARE bzw. Fragen und Anregungen. Diese Punkte sind sowohl relevant für die Vorbesprechung als auch für das Protokoll.

Messen Sie die Zählrate für die Streuung an der Goldfolie im Bereich von  $-30^\circ$  bis  $+30^\circ$  in  $5^\circ$ -Schritten. Verwenden Sie hierzu als Kollimator den 1 mm-Spalt.

Weisen Sie die Gültigkeit der RUTHERFORD-Formel nach, indem Sie sie in Ihre Messdaten fitten. *Was für einen Verlauf erwarten Sie für die experimentell bestimmte Zählrate gegenüber der Theorie?* Tragen Sie Ihre Resultat auch halblogarithmisch auf! (Warum?)

Bewerten Sie ihren Fit optisch und bewerten Sie das  $\chi^2$  des Fits. Bitte beachten Sie den Winkeloffset. *Welche Fitfunktion, welches Kriterium?*

### 2.2 Rückstreuung von $\alpha$ -Teilchen (qualitativ)

Setzen Sie die Goldfolie ohne Spalt in die Kammer ein und stellen Sie einen Winkel von etwa  $150^\circ$  ein. Messen Sie die Rückstreuung der  $\alpha$ -Teilchen. Auf Grund der niedrigen Zählraten sollten Sie diese Messung über einen längeren Zeitraum von etwa einer Stunde (z.B. während der Mittagspause) und die Anzahl der Teilchen im Betriebsmodus COUNTS des Digitalzählers ohne Computer zählen lassen.

*Ist das Ergebnis dieser Messung mit den Ergebnissen für die Messungen bei kleinen Winkeln vergleichbar, d.h. könnte man die hier gemessene Zählrate zu denen des ersten Versuchsteils hinzufügen?*

### 2.3 Bestimmung der Kernladungszahl von Aluminium

Nehmen Sie auch mit der Aluminiumfolie und dem 1 mm-Spalt für einige Winkel die Zählrate auf, und führen Sie ebenfalls einen Fit der Rutherford-Formel durch. Vergleichen Sie die Resultate mit denen der Goldfolie. *Was beobachten bzw. erwarten Sie? Welcher Winkelbereich ist daher (grob) für diesen Versuchsteil geeignet?*

---

<sup>6)</sup>[www.python.org](http://www.python.org)

Die Kernladungszahl lässt sich aus folgendem Zusammenhang, der sich aus der Rutherford'schen Streuformel ergibt, berechnen:

$$\frac{\dot{N}_{\text{Au}}}{\dot{N}_{\text{Al}}} = \frac{Z_{\text{Au}}^2 d_{\text{Au}}}{Z_{\text{Al}}^2 d_{\text{Al}}}$$

mit  $d_{\text{Au}} = 2 \mu\text{m}$  und  $d_{\text{Al}} = 7 \mu\text{m}$ .

Wie kann man aus den Parametern der Fits der Rutherford-Funktion die Kernladungszahl bestimmen? Warum ist kein Mitteln über viele Einzelergebnisse nötig?

## 2.4 Versuchsdurchführung Reichweitenbestimmung

Entfernen Sie die Metallfolie und den Kollimatorsplatt, und stellen Sie den Schwenkarm in die 0°-Stellung.

Der Versuchsaufbau erlaubt es nicht, die Entfernung zwischen  $^{241}\text{Am}$ -Präparat und Quelle zu verändern, um so direkt die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung bei Normaldruck zu bestimmen. Messen Sie statt dessen die Zählrate in Abhängigkeit des Luftdrucks der Kammer. Passen Sie dabei die Schrittweite der Änderung der Zählrate an!

Warum und Wie lässt sich aus den gewonnenen Daten die Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen bei Normaldruck bestimmen? Welche Daten des Versuchsaufbaus benötigen Sie dazu?

Berücksichtigen Sie, dass das  $^{241}\text{Am}$  Ihres Präparats durch eine  $3 \mu\text{m}$  dicke Goldfolie abgedeckt ist, wodurch sich die Energie der  $\alpha$ -Teilchen auf etwa 4,5 MeV verringert.

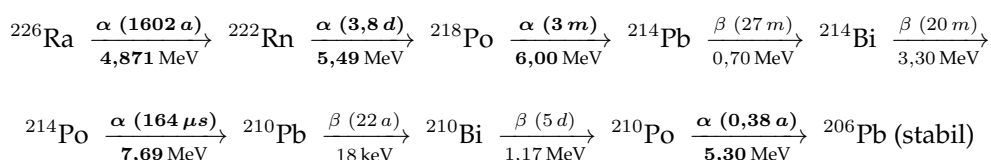
## 2.5 Energieverlust von $\alpha$ -Strahlung in Luft

Der Energieverlust von  $\alpha$ -Strahlung in Luft wird gewöhnlich *pro Wegstrecke* bei Normaldruck angegeben. Da die Spektroskopiekammer ebenfalls keine Veränderung des Abstandes zwischen  $\alpha$ -Strahler und Detektor erlaubt, wird auch hier der Luftdruck in der Kammer variiert und später in eine Wegstrecke bei Normaldruck umgerechnet.

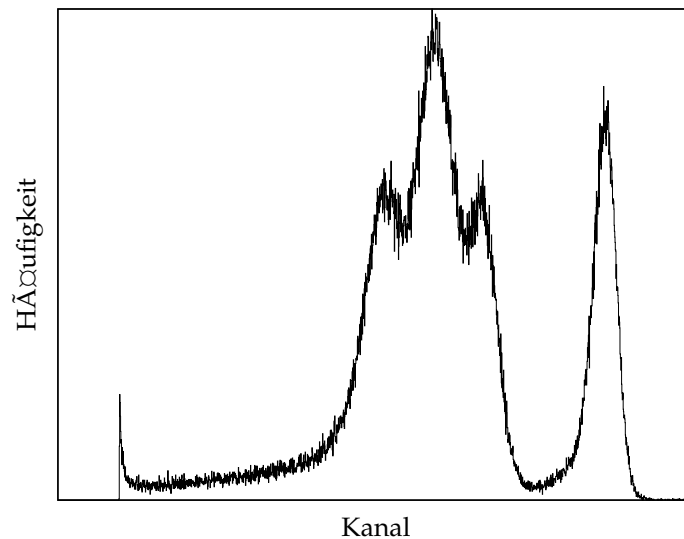
Evakuieren Sie die Spektroskopiekammer und warten Sie eine Weile, um sicher zu gehen, dass der Luftdruck in der Kammer möglichst gering ist. Stellen Sie Verstärker und ADC so ein, dass ein  $^{226}\text{Ra}$ -Spektrum wie in **Abbildung 9** zu sehen ist. Es existiert ein sehr starkes Untergrundrauschen im unteren Energiebereich, das sie mit der Einstellschraube LLD am ADC vorsichtig ausblenden sollten, um die Gesamtzählrate und damit die Totzeit gering zu halten.

**Sobald sie eine Einstellung gefunden haben, die für Ihre Zwecke geeignet scheint, verändern Sie die Einstellung nicht mehr, da sonst die folgende Kalibrierung nicht mehr stimmt!**

Führen Sie an Ihrem Spektrum zunächst unter Zuhilfenahme der bekannten  $^{226}\text{Ra}$ -Zerfallsreihe eine Kanal-Energie-Kalibration durch. Da die Dicke der Abdeckung und somit die Energieabnahme des Präparats nicht bekannt ist, können Sie hier von theoretischen Werten für die Energien ausgehen.



Belüften Sie die Kammer anschließend langsam und nehmen Sie Spektren im Bereich von etwa 100 Torr bis 800 Torr in 25 Torr-Schritten auf. Achten Sie während der Messung darauf, dass der Druck



**Abbildung 9:** Energiespektrum des  $^{226}\text{Ra}$ -Präparats. Durch die Einstellung einer unteren Schwelle (LLD) am ADC sind Werte im linken Bereich ausgeblendet.

annähernd konstant bleibt und brechen Sie Ihre Messreihe ab, sobald der Druck im oberen Bereich nicht mehr konstant bleibt oder das letzte Peak des Energiespektrums den Messbereich verlassen hat.

Rechnen Sie den Luftdruck in der Kammer bei Ihrer Auswertung in eine Wegstrecke bei Normaldruck um, und betrachten Sie soweit möglich den absoluten Energieverlust, den Energieverlust pro Wegstrecke  $\frac{dE}{dx}$  und die Zählrate der einzelnen Peaks.

Fitten Sie die einzelnen Peaks, oder das gesamte Spektrum, mit einer geeigneten Verteilungsfunktion. Dabei ist die Energie um die jeweilige Linie normalverteilt.

Diskutieren Sie die erwartete Energieabgabe der  $\alpha$ -Teilchen.

Wie bestimmen Sie die Raten der Peaks? Welches Verhalten erwarten Sie mit zunehmender „Luftdicke“? Diese Überlegung gilt gleichermaßen für den Absorptionsvergleich im letzten Versuchsabschnitt.

## 2.6 Absorptionsverhalten von Aluminium und Papier

Ihnen stehen Rahmen mit haushaltsüblicher Aluminiumfolie ( $13\mu\text{m}$  Dicke) sowie Papier ( $75\text{ g/m}^2$ ,  $103\mu\text{m}$  Dicke und  $25\text{ g/m}^2$ ,  $103\mu\text{m}$  Dicke) zur Verfügung.

Untersuchen Sie das Absorptionsverhalten dieser Materialien beim Durchgang von  $\alpha$ -Strahlung. Diskutieren Sie in diesem Zusammenhang den Absorptionsprozess und begründen Sie die Entwicklung der Spektren. Ein Vergleich mit dem Absorptionsprozess von  $\gamma$ -Strahlung kann hier hilfreich sein.

Werten Sie die Spektren in Hinblick auf völlige Absorption und Energieverlust der  $\alpha$ -Teilchen qualitativ aus. Was stellen Sie beim Vergleich der Spektren von Alufolie und Bibelpapier fest?

### 3 Hinweise und Anforderungen

Bitte erscheinen Sie ausreichend vorbereitet zu den Laborterminen. Wie sämtliche Versuche des FP beginnt der Labortag mit einer Befragung zum Experiment und den damit Verbundenen Auswertungstechniken (kein Coding). Dabei ist eine Grundkenntnis in allen Bereichen wichtiger als tiefes Detailwissen in einem kleinem Teilbereich.

Teilen Sie sich Ihre Zeit gut ein.

#### 3.1 Diskussion der Ergebnisse

Hinterfragen Sie kritisch ihre Ergebnisse. Was haben Sie erwartet und deckt sich Ihr Ergebnis mit diesen Erwartungen? Geben Sie Quellen oder Verweise an. Setzen Sie sich außerdem mit der Fehlerabschätzung und möglichen Fits auseinander. Sind die Fehler sinnvoll gewählt? Ist der Fit optisch gelungen?

Für den Fall, dass Unstimmigkeiten bestehen, zeigen Sie diese auf. Versuchen Sie in einem sinnvollen Rahmen den Problemen nachzugehen und begründen Sie Ihr Vorgehen.

Schreiben sie ein nützliches Fazit. Der eilige Leser sollte in der Lage sein, anhand maximal einer Seite zu erkennen, was Sie gemacht haben, was Ihre Ergebnisse sind und wie Sie Ihre Ergebnisse bewerten. Fazits mit ungefährem Wortlaut „Alles ist gut gelaufen und wir sind froh viel gelernt zu haben“ haben wenig wissenschaftlichen Anspruch und Nutzen.

#### 3.2 Protokoll

Häufig erweist es sich als wenig effektiv große Teile des Protokolls im Voraus anzufertigen, da im Laufe der Vorbesprechung bestimmte Sachverhalte erst klar werden. Verwenden Sie im Zweifel mehr Zeit auf die Vorbereitung.

Beachten Sie die Länge des Protokolls von 15 Seiten Text. Insbesondere der Aufbau sollte so knapp wie möglich gehalten werden. Orientieren Sie sich nicht an diesem Versuchsheft. Dies dient der Vorbereitung auf diesen speziellen Aufbau und soll einen schnellen Einstieg ermöglichen.

Halten Sie Außerdem den Theorieteil knapp und versuchen Sie den direkten Bezug zum Experiment herzustellen.

Achten Sie auf korrekten wissenschaftlichen Stil. Verweisen Sie auf Ihre Quellen, setzen Sie Bildunterschriften, Tabellenbeschriftungen und nummerieren Sie Ihre Formeln, Bilder und Tabellen. Ein Musterprotokoll und die dazugehörige LaTeX-Vorlage finden sie auf der FP-Webpage.

Achten Sie außerdem auf eine gute Lesbarkeit, sowohl der Digitalen als auch der Druckversion. Dazu gehört Liniendicke und Farbe für Plots, aber auch Speicherformate von Grafiken. Insbesondere Strichgrafiken sollten nicht im .jpg Format gespeichert werden.

Machen Sie ausreichend Absätze um die Lesbarkeit großer Textblöcke zu unterstützen.

Stand: 18. August 2011

J.S.