

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Theoretische Grundlagen	1
1.1 Zerfallsgesetz	1
1.2 Zerfallsprozesse	1
1.3 Zerfallsschemata	2
1.4 Wechselwirkung mit Materie	3
2 Geräte	4
3 Versuchsaufbau und Durchführung	7
3.1 Versuchsteil 1	7
3.2 Versuchsteil 2	9
4 Auswertung und Fehleranalyse	12
4.1 Gauss-Fits	12
4.2 Untergrund	12
4.3 Energieeichung des Multi-Channel-Analyzers	13
4.4 Der Untergrundpeak	17
4.5 Das Thoriumspektrum	17
4.6 Koinzidenzmessung	19
5 Diskussion der Ergebnisse	21
A Anhang	22
B Gauss-Fits	22
Abbildungsverzeichnis	35
Tabellenverzeichnis	36
Literatur	36

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Zerfallsgesetz

Hat ein Element ein instabiles Isotop, so kann dieses zerfallen. Der Zerfallsprozess findet statistisch statt und kann durch das Zerfallsgesetz beschrieben werden. Nimmt man an, dass die zeitliche Änderung der Anzahl von Atomen durch

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot t \quad (1)$$

gegeben ist. λ ist hier die isotopspezifische Zerfallskonstante. Integration liefert:

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t). \quad (2)$$

Bei N_0 handelt es sich um die Anzahl von Atomen zum Zeitpunkt $t = 0$. Die Halbwertszeit $T_{1/2}$ gibt an nach welcher Zeit die Hälfte der Atome zerfallen ist und wird über

$$\begin{aligned} N(T_{1/2}) &= \frac{1}{2} \cdot N_0 \\ \Leftrightarrow T_{1/2} &= \frac{\ln 2}{\lambda} \end{aligned} \quad (3)$$

bestimmt.

1.2 Zerfallsprozesse

Instabile Isotope unterliegen unterschiedlichen Zerfällen. Zur übersichtlichen Darstellung lassen sich Zerfallsgleichungen erstellen in denen X das Mutter- und Y das Tochternuklid bezeichnet. Die Massenzahl A wird oben und die Ordnungszahl Z unten geschrieben. ΔE bezeichnet beim Zerfall frei werdende Energie.

α -Zerfall α -Zerfall tritt auf, wenn die Kernkräfte die abstoßenden Kräfte der Protonen untereinander nicht komplett aufheben können. Beim α -Zerfall zerfällt ein Mutterkern zum Tochterkern und sendet dabei ein Helium-4-Atomkern aus:



β -Zerfall Es gibt drei unterschiedliche Arten des β -Zerfalls.

β^- -Zerfall: Ein Neuklid mit überschuss an Neutronen zerfällt zum Kern eines Protons unter Aussendung eines Elektrons und eines Elektron-Antineutrinos:



β^+ -Zerfall: In einem protonenreichen Nukliden zerfällt wird ein Proton des Kerns in ein Neutron umgewandelt und sendet dabei ein Positron und ein Elektronneutrino aus:



Elektroneneinfang: Obwohl keine β -Strahlung entsteht wird der Elektroneneinfang zu den β -Zerfällen gezählt. Ein Proton des Kerns wandelt sich unter Vernichtung eines kernnahen Elektrons und Aussendung eines Elektron-Neutrinos in ein Neutron um:



γ -Zerfall Gammestrahlung entsteht, wenn nach einem α - oder β -Zerfall der Tochterkern im angeregten Zustand ist. Beim Übergang von diesem angeregten Zustand in den Grundzustand wird die freiwerdende Energie als γ -Strahlung, also Aussendung von energiereichen Photonen frei.

Auger-Effekt Wird ein Elektron aus der inneren Schale entfehrt, so hinterlässt es eine Lücke. Diese Lücke kann von einem Elektron aus einer höheren Schale gefüllt werden, wobei Energie frei wird. In den meisten Fällen wird die Energie in Form eines Photons abgegeben, die Energie kann aber auch an ein weiteres Elektron abgegeben werden, was daraufhin aus dem Atom herausgelöst wird. Dieses Elektron nennt man Auger-Elektron.

Innere Konversion Innere Konversion bezeichnet den Vorgang, wenn eine angeregter Kern mit einem der Hüllenelektronen elektromagnetisch wechselwirkt und seine überschüssige Energie an das Elektron abgibt. Das Hüllenelektron wird emittiert und erhält eine Energie von $E_{\text{kin}} = E_{\text{Überschuss}} - E_{\text{Bindung}}$. Die resultierende Lücke wird nun anderen Elektronen aufgefüllt, wobei Röntgenstrahlung (dh. Photonen) oder Augerelektronen frei werden.

Positronium Positronen (Antiteilchen, die unter anderem beim β^+ -Zerfall entstehen) sind in Materie nicht stabil. Treffen ein Positron und ein Elektron aufeinander, so kommt es zu Positron-Elektron-Vernichtung und ein Positronium bildet sich. Dieses zerfällt, wenn Spin von Elektron und Positron entgegengesetzt sind, in zwei Photonen. Sind kinetische Energie und Impuls vor der Annihilation sehr klein, so werden die Photonen mit einem Winkel von 180° und jeweils einer Energie von 511 keV ausgesand. Die Energie entspricht der Ruheenergie eines Elektrons oder Positrons.

1.3 Zerfallsschemata

Cobalt Im Versuch wird ^{60}Co genutzt, was einem β^- -Zerfall unterliegt. Beim β^- -Zerfall

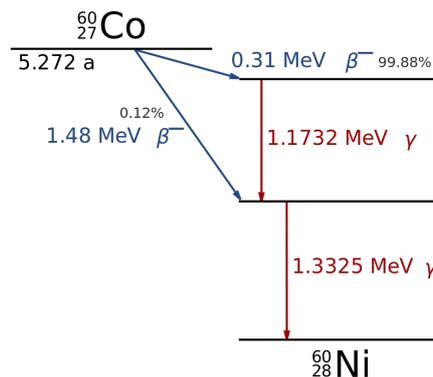
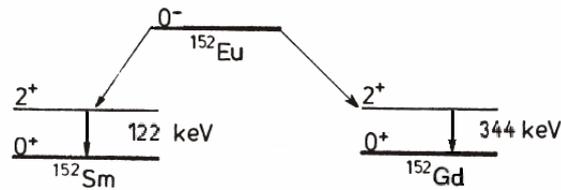


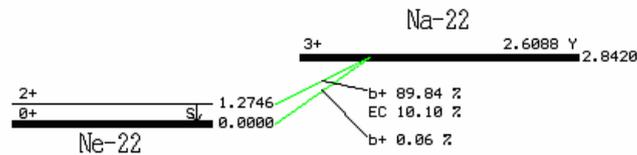
Abbildung 1: Zerfallsschema von ^{60}Co

geht ^{60}Co in einen angeregten Zustand von ^{60}Ni über (siehe Abb. 1). Nach dem deutlich wahrscheinlicheren β^- -Zerfall in den oberen der beiden Zustände, geht ^{60}Ni mit zwei Gammaübergängen in den Grundzustand über. Diese Übergänge mit 1,1732 MeV und 1,3325 MeV können im Versuch detektiert werden.

Abbildung 2: Vereinfachtes Zerfallschema von ^{152}Eu

Europium Das genutzte Isotop ^{152}Eu unterliegt allen drei β^- -Zerfällen. Da das Zerfallsschema durch die vielen möglichen Übergänge sehr komplex wird ist in Abb. 2 nur ein vereinfachtes Schema dargestellt. Die im Schema gezeigten Photopeaks gehören zu den intensivsten γ -Übergängen, die man bei Europium messen kann.

Natrium ^{22}Na zerfällt unter β^+ -Zerfall und Elektroneneinfang. Wie man in Abb. 3

Abbildung 3: Zerfallsschema von ^{22}Na

erkennen kann, wird ein Peak bei 1,2746 MeV beobachtet, welcher bei der Abregung von Neon in den Grundzustand entsteht. Außerdem wird bei 511 keV ein Peak erwartet, welcher durch Paarvernichtung entsteht.

1.4 Wechselwirkung mit Materie

Photoeffekt Ein Photon mit ausreichender Energie kann aus der Atomhülle eines Atoms ein Elektron lösen. Dabei wird das Photon selbst absorbiert. Die kinetische Energie des herausgelösten Photons ist abhängig von der Photonenenergie $h \cdot \nu$ und der Bindungsenergie des Elektrons, wobei $E_{\text{kin}} = h \cdot \nu - E_{\text{Bindung}}$ gilt. Hier ist h das Plancksche Wirkungsquantum und ν die Frequenz des Photons. Der Wirkungsquerschnitt σ ist in fünfter Potenz abhängig von der kernladungszahl Z , was dazu führt, dass der Photoeffekt hauptsächlich bei schweren Elementen zu beobachten ist. Die Energie der Photonen beim Photoeffekt liegt bei etwa $E_{\gamma} \geq 200 \text{ keV}$.

Comptoneffekt Der Comptoneffekt beschreibt die Streuung eines Photons an einem freien Elektron. Ein Teil der Energie des Photons wird an das Elektron übertragen und das Photon bewegt sich danach mit verminderter Energie um den Winkel α verändert zur Ausgangsbewegung fort. Die Photonenenergie, bei der der Comptoneffekt beobachtet wird liegt zwischen 200 keV und 5 MeV.

Paarbildung Paarbildung bezeichnet den Prozess der Bildung eines Elektron-Positron-Paares auch einem hochenergetischen Photon. Die Energie des Photons muss mindestens der Summe der Ruheenergien von Elektron und Positron (dh. $E_{\gamma} \geq 1,022 \text{ MeV}$) entsprechen, haben die gebildeten Teilchen auch kinetische Energie, so muss das Photon dementsprechend eine höhere Energie haben.

2 Geräte

Szintillator Im Versuch werden zwei verschiedene Szintillationszähler verwendet, diese bestehen meist aus einem Szintillator und einem Photomultiplier. Es werden ein Plastikszintillator als Vertreter der organischen Szintillatoren und ein Natrium-Iodid-Szintillator, bei dem es sich um einen anorganischen Szintillator handelt, verwendet.

Bei anorganischen Szintillatoren handelt es sich um dotierte Kristalle. Die Signalerzeugung kann man sich hier mit dem Bändermodell klarmachen. Ionisierende Strahlung hebt in einem anorganischen Szintillator ein Elektron aus dem Valenz- in das Leiterband. Fällt das Elektron aus dem Leiterband runter, so wird Energie in Form eines Photons frei. Da der Kristall dotiert ist, hat das Photon gerade nicht mehr genug Energie um ein neues Elektron anzuregen und kann somit aus dem Kristall entkommen und detektiert werden. Anorganische Szintillatoren haben eine sehr gute Lichtausbeute, bieten aber durch eine lange Abklingzeit keine gute Zeitauflösung.

Bei organischen Szintillatoren erreicht man ein Signal durch Anregung von Molekülzuständen, die beim Zerfall UV-Strahlung emittieren. Im Gegensatz zu den anorganischen Szintillatoren benötigen organische Szintillatoren eine hohe Aktivierungsenergie. Da es sich bei Molekülschwingungen um sehr schnelle Prozesse handelt, bieten organische Szintillatoren dafür eine sehr gute Zeitauflösung.

Photomultiplier Da die Signale der Szintillationszähler nur sehr schwach sind, wird ein Photomultiplier verwendet, um die Lichtsignale in einen Strom umzuwandeln. Das aus dem Szintillator ausgesendete Photon wird durch einen Lichtleiter direkt auf eine Photokathode geleitet. Mittels Photoeffekt werden ein, oder auch mehrere Elektronen aus der Kathode geschlagen. Diese werden nun mit mehreren Dynoden und Anoden beschleunigt und lösen dort weitere Sekundärelektronen aus, welche am ende des Photomultipliers detektiert werden. Das Lichtsignal wird also in ein verstärktes elektrisches Signal umgewandelt.



Abbildung 4: Ein Bild der Geräte, wie sie im aktuellen Aufbau verfügbar sind. Von links nach rechts: 1. Multi-Channel-Analyser (im Aufbau Multiport II), 2./10. Amplifier (zu beachten ist, dass die Amplifier nicht zwingendermaßen die selben Ergebnisse liefern, auch wenn es eigentlich das gleiche Modell ist), 3./9. Single-Channel-Analyser (im Aufbau Timing SCA), 4. Fast Amplifier (nicht genutzt), 5. Hex-Counter (im Aufbau Hex-Scaler), 6. Linear Gate, 7. Koinzidenzeinheit, 8. Timing Unit, 11. nicht genutzt (Bild entnommen aus [Anl])

In Abb. 4 sind alle genutzten Geräte (abgesehen von den Szintillatoren) aufgezeigt, im Folgenden wird die Funktionsweise und der Zweck der Geräte, bezogen auf den Versuch genauer erläutert.

Amplifier Bei dem Verstärker im Bild handelt es sich um den Hauptverstärker. Dieser nimmt das Signal des Vorverstärkers Abb. 5 und verstärkt dieses weiter und verändert die Pulsform. Die Verstärkung kann mit zwei Rädchen, dem Amplifier- und dem Corase-Gain eingestellt werden. Zur Veränderung der Pulsform ist die Shaping-Time einzustellen. In Abb. 5 ist zu erkennen, dass das Signal eine sehr lange Abklingzeit hat. Werden nun zwei Signal in kurzer Zeit registriert so können sich die Signal überlagern und die Signalhöhe wird addiert (man nennt diesen Effekt Pile-up). Um dies zu vermeiden, kann die Shaping-Time verkürzt werden. Im Versuch wird diese Zeit so gewählt, dass das Minimum im Signal des Vorverstärkers erfasst, der exponentielle Trend jedoch abgeschnitten wird. Der Hauptverstärker liefert zwei mögliche Ausgangssignale, ein unipolares- (Abb. 5 und ein bipolares Signal. Das unipolare Signal wird genutzt, wenn man an der Signalhöhe interessiert ist, das bipolare Signal, wenn die zeitliche Entwicklung interessant ist.

Der Vorverstärker ist direkt an den Szintillatoren angebaut, dieser muss also nicht selbstständig verkabelt werden. Er dient zur direkten Verstärkung der Signale. Da die Signale der Szintillatoren sehr gering sind, wird der Vorverstärker sehr nah an den Szintillator anbracht, um die Weglänge des unverstärkten Signals möglichst kurz zu halten.

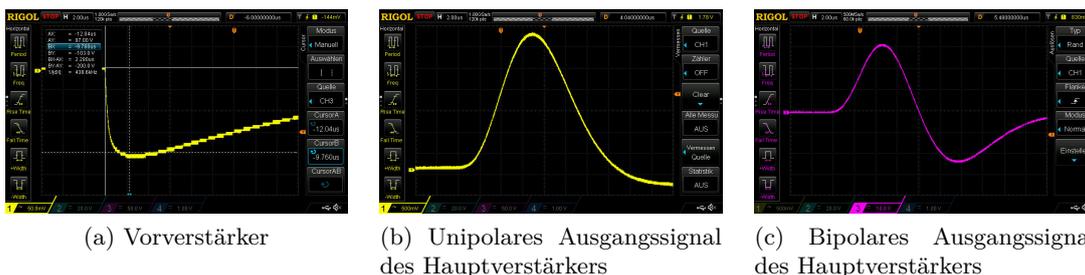


Abbildung 5: Hier wurde der NaI-Szintillator genutzt.

Multi-Channel-Analyser Das Signal, welches vom Vorverstärker und Verstärker weitergegeben wird, wird vom Multi-Channel-Analyser verarbeitet und an den PC weitergegeben. Die einzelnen Signale werden vom Gerät nach der Pulshöhe sortiert und gezählt. Die resultierende Zählrate für jede Energie kann dann mit einem geeigneten Programm als Spektrum ausgelesen werden.

Single-Channel-Analyser Der Single-Channel-Analyser erhält das bipolare Ausgangssignal des Hauptverstärkers und verarbeitet dieses weiter. Dabei kann man am Gerät ein Fenster einstellen (zwei Rädchen, upper- und lower-level), liegt das Eingangssignal im eingestellten Fenster so liefert das Gerät ein logisches Ausgangssignal, liegt das Signal nicht im Fenster, so erhält man kein Signal. Dabei ist zu beachten, dass das Gerät zwei mögliche Ausgänge hat, der eine liefert ein positiv gepoltes Signal, der andere ein negatives, jedoch liefern beide Ausgänge nur ein Signal, wenn das Eingangssignal im Fenster liegt.

Zum Einstellen des Fensters gibt es drei verschiedene Modi:

- Normal: Die obere und die untere Schwelle des Fensters lassen sich über die zwei Rädchen unabhängig voneinander einstellen.

- Window: Es wird eine fixe Fensterbreite mit dem upper level eingestellt und das lower level verschiebt die untere Schwelle des Fensters.
- Integral: Das lower level gibt die untere Schwelle vor, eine obere Schwelle gibt es nicht.

Linear Gate Möchte man überprüfen, welche Signale tatsächlich im eingestellten Fenster des Single-Channel-Analysers liegen, so kann man das unipolare Ausgangssignal des Hauptverstärkers und das logische Ausgangssignal des Single-Channel-Analysers and das linear Gate anschließen und das Ausgangssignal von diesem mit dem Multi-Channel-Analyser verarbeiten und am PC auswerten. Die Funktionsweise ist dabei folgende:

Erhält das linear Gate sowohl ein positives¹ Signal vom Single-Channel-Analyser, als auch ein unipolares Signal vom Hauptverstärker, so wird das unipolare Signal an den Multi-Channel-Analyser weitergegeben. Erhält das Gate ein negatives logisches Signal, so wird nichts an den Multi-Channel-Analyser weitergegeben. Im Spektrum erkennt man also, welche Signalhöhen, dh. Energien innerhalb des gewählten Fensters liegen.

Timing-Unit Die Timing-Unit erhält das negativ polarisierte Ausgangssignal des Single-Channel-Analysers, also ein negativ polarisiertes Kastensignal. Als Ausgangssignal kann ein negativ und ein positiv polarisiertes logisches Signal Abb. 6 ausgegeben werden. Mit einer kleinen Schraube (links, kupferfarbend) kann die Breite des Ausgangssignals angepasst werden.



Abbildung 6: Negativer Output der beiden Timing-Units, mit Hilfe der Schrauben wurde die Signalbreite angepasst und der Delay der Single-Channel-Analyser wurde so verstellt, dass sich die Signale maximal überlappen. Da das Oszilloskopsignal hier sehr flackert, wurde eine Nachzeit von 5 s eingestellt.

Koinzidenzeinheit Die Koinzidenzeinheit erhält die negativ polarisierten Ausgangssignale der zwei Timing-Units Abb. 6, daher also zwei Kastensignale. Überlappen sich diese zwei Eingangssignale, so ist der Output der Koinzidenzeinheit ein positives logisches Signal, überlappen sie sich nicht ein negatives.

Hex-Counter Verbindet man die Coincedence-Unit mit dem Hex-Counter, so zählt dieser die Ausgangssignale der Coincedence-Unit, dh. jedes mal wenn der Hex-Counter ein logisches Signal registriert wird der Counter um 1 erhöht. Mit einem kleinen Rädchen kann eine Laufzeit voreingestellt werden.

¹Positiv ist hier nicht im Sinne der Polarität, sondern im Sinn des Signals, welches entsteht, wenn der Single-Channel-Analyser ein Signal innerhalb des eingestellten Fensters detektiert, gemeint.

3 Versuchsaufbau und Durchführung

Im Folgenden werden Aufbau und Durchführung für beide Versuchsteile beschrieben. Die Versuchsteile werden dabei separat behandelt, da der Aufbau des Versuchs aber ein wesentlicher Teil der Durchführung ist, werden diese beiden Teile zusammen behandelt.

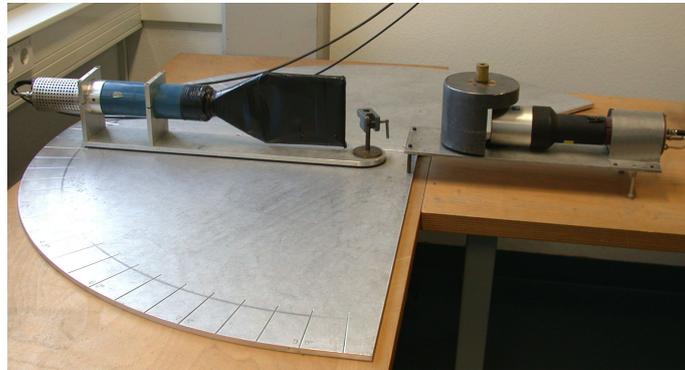


Abbildung 7: Vorhandener Aufbau linksseitig der in Abschnitt 2 beschriebenen Geräte. Links ist der Plastikszintillator und rechts der Natriumiodidszintillator aufgestellt. Zwischen den beiden Szintillatoren befindet sich eine Probenhalterung, direkt links neben dem NaI-Szintillator ist ein Bleiblock mit Probenhalterung zu sehen. Der Plastikszintillator lässt sich auf der silbernen Platte von -90° bis 90° drehen.

3.1 Versuchsteil 1

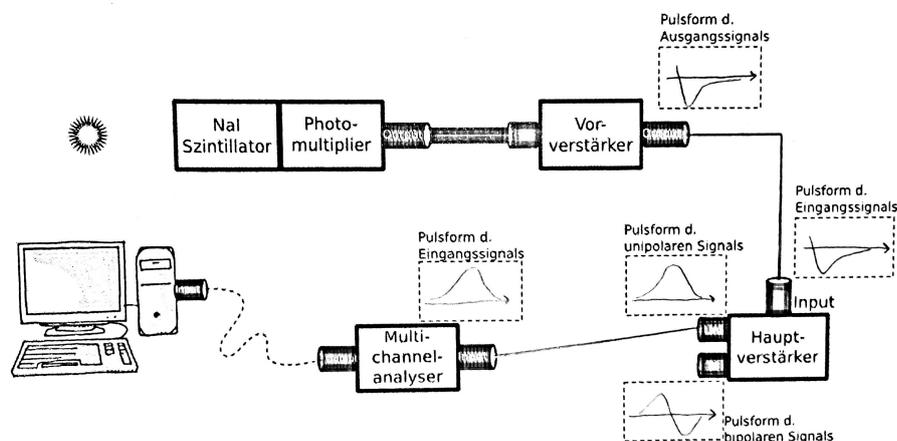


Abbildung 8: Schematische Darstellung des Ausbaus zum ersten Versuchsteil. Die eingezeichneten Signale sollten bei Möglichkeit während des Aufbaus des Versuchs kontrolliert werden.

In Abb. 8 ist der angestrebte Aufbau dargestellt. Das Ziel des ersten Versuchsteils ist das Vermessen des Thoriumspektrums.

Um den Aufbau zu Verkabeln wird jedoch zunächst die Natriumprobe genutzt, da diese schnell einfach auszuwertende Ergebnisse liefert. Die Natriumprobe wurde auf dem mittleren Probenhalter (siehe Abb. 7) platziert und der NaI-Szintillator zunächst an das Oszilloskop angeschlossen. Da der Vorverstärker direkt an den Szintillator verbaut ist, wurde

nun am Oszilloskop das Signal des Vorverstärkers (Abb. 5) beobachtet. Die Einstellung des Oszilloskops hat sich teilweise als sehr kompliziert erwiesen und das Einstellen einer Nachzeit², sowie leichtes Variieren des Triggers haben das Aufnehmen eines stehenden Bildes ermöglicht. Das aufgenommene Bild wurde mit Hilfe der Cursor-Funktion des Oszilloskops auf die einzustellende Shaping-Time untersucht, indem der Abstand zwischen Signalbeginn und Minimum vermessen wurde. Abb. 5 kann man entnehmen, dass der Abstand bei $2,28 \mu\text{s}$ ($BX - AX$) liegt.

Als nächstes wurde der Szintillator an den Amplifier angeschlossen. Zunächst wurde der linke Amplifier verwendet, auf Hinweis unseres Tutors wechselten wir jedoch zum rechten Amplifier, da dieser bessere Ergebnisse liefert. Beim Amplifier wurde zunächst die Shaping-Time auf $3 \mu\text{s}$ gestellt, da bei dieser Zeit das vollständige Minimum, aber möglichst wenig des Ausläufers aufgenommen wird. Dann wurden sowohl der unipolare- als auch der bipolare Ausgang an das Oszilloskop angeschlossen und die Signale überprüft. In Abb. 5 sind beide Signale zu sehen, das semigaussförmige unipolare Signal ist sehr gut zu erkennen und auch das bipolare Signal zeigt die erwartete Kurve.

Um eine geeignete Verstärkung zu bestimmen, wurde das unipolare Ausgangssignal an den Multi-Channel-Analyser angeschlossen und das Natriumspektrum am Computer aufgenommen, es wurde eine Anzahl von 8190 Channels³ gewählt, und eine kurze Zwischenauswertung durchgeführt.

Zwischenauswertung zur Bestimmung der Verstärkung Ziel beim Einstellen der Verstärkung ist es, dass alle erwarteten Thoriumpeaks aufgenommen werden können. Man könnte nun die Verstärkung einfach sehr gering einstellen und davon ausgehen, dass nun alles aufgenommen wird. Dieser Weg würde vielleicht zum Ziel führen, liefert aber eine schlechte Auflösung. Nutzt man das vermessene Natriumspektrum, so kann man schnell zwei Peaks identifizieren. Ein Peak ungefähr in Channel 1400, dieser entspricht dem 511 keV Peak und einer in Channel 3600, dies ist der 1274,6 keV-Peak. Den Thoriumpeak mit höchster zugehöriger Energie erwartet man bei ungefähr 2600 keV. Geht man nun davon aus, dass die Channels linear mit der zugehörigen Energie zusammenhängen, so kann man mit der Steigung zwischen den zwei bekannten Punkten ermitteln, dass der hier interessante Thorium-Peak ungefähr in Channel 7492 liegt. Bei einer Gesamtzahl von 8190 Channels sollte der Peak also auch bei leichter Abweichung noch im messbaren Bereich liegen.

Nach der Zwischenauswertung wurde beschlossen die Verstärkung bei den vorher eingestellten Werten von Amplifier-Gain = 0,5 und Coarse-Gain = 20 zu belassen.

Mit dieser Verkabelung und Einstellung war der Aufbau des Versuches abgeschlossen und es wurden nun nacheinander die Eichproben Natrium, Cobalt und Europium vermessen. Die Natriumprobe wurde dafür auf den mittigen Probenhalter gestellt, die anderen beiden Proben wurden in den Bleiblock gesteckt und vor den Szinti gestellt. Die Messzeit wurde jeweils spontan in Abhängigkeit des aktuellen Bildes des Spektrums bestimmt. So wurde Europium etwas länger gemessen, damit auch hier eine annehmbare Anzahl von Counts vermessen werden konnte. Das Thoriumspektrum wurde über das Wochenende aufgenommen, was dazu führt, dass das eigentlich interessante Spektrum in diesem Versuch einen möglichst kleinen Fehler erhält. Nach dem Wochenende wurde noch eine ungefähr vierstündige Untergrundmessung durchgeführt. Die Wahl der Messzeit wurde hier hauptsächlich

²Die Nachzeit führt dazu, dass Bilder entsprechend länger angezeigt werden.

³Bei der Wahl der Channels sollte wurde abgewogen zwischen guter Auflösung, dh. viele Channels und annehmbarer Anzahl von Counts pro Channel. Auch diese Zahl wurde allerdings mit dem Tutor besprochen um nicht-auswertbaren Daten vorzubeugen.

durch die insgesamt zur Verfügung stehende Zeit begrenzt, eine längere Messung liefert vorraussichtlich bessere Ergebnisse, vier Stunden stellen aber einen akzeptablen Kompromiss dar.

3.2 Versuchsteil 2

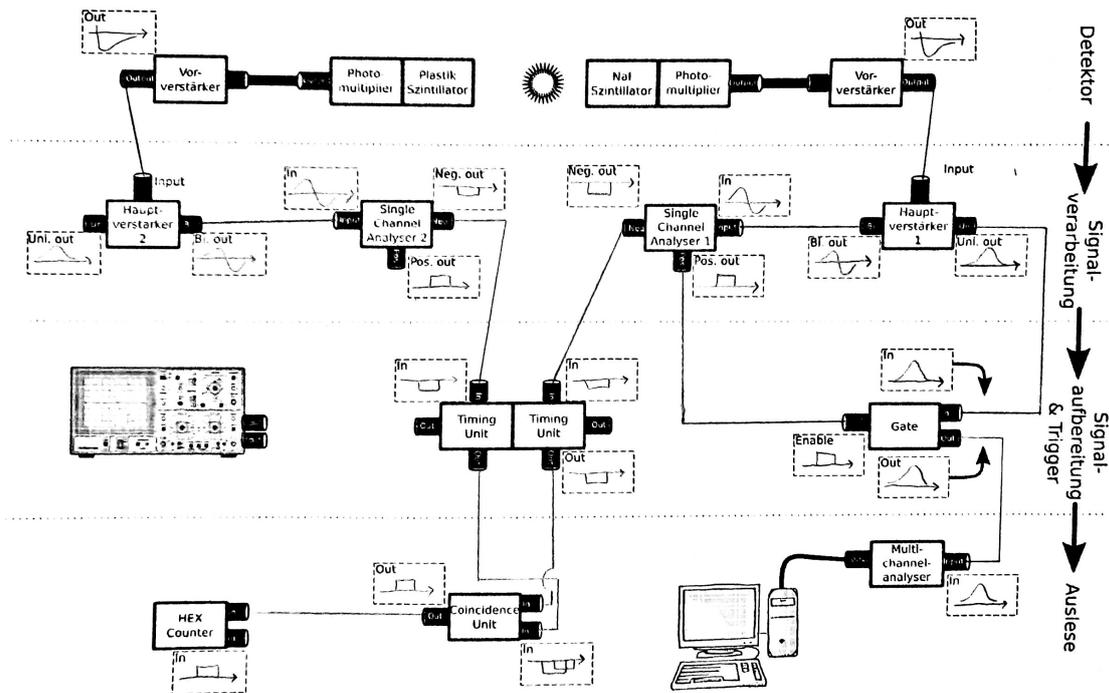


Abbildung 9: Schematische Darstellung zum zweiten Versuchsteil, die Verkabelung musste noch durchgeführt werden und die Signale, die in den Boxen eingezeichnet sind, konnten weitestgehend mit dem Oszilloskop überprüft werden.

Ziel des zweiten Versuchsteils ist das Untersuchen der Paarvernichtung mittels Koinzidenz, hier wird also der linke Teil des Versuchsaufbaus aus Abb. 9 genutzt. Der rechte Teil wird jedoch zur Bestimmung sinnvoller Fenster für den Single-Channel-Analysen verwendet. Der komplette zweite Versuchsteil wurde mit der Natriumprobe durchgeführt.

Zunächst wurde die Natriumprobe auf dem mittigen Probenhalter platziert und von dort auch während der gesamten Durchführung nicht mehr wegbewegt. Als erstes wurde ein sinnvolles Fenster des Single-Channel-Analysers für den NaI-Szintillator bestimmt. Dafür wurde der Szintillator mit Vorverstärker an den Hauptverstärker angeschlossen und das bipolare Ausgangssignal an den Single-Channel-Analysen weitergegeben. Die Verstärkungseinstellungen des Hauptverstärkers wurden aus dem ersten Versuchsteil übernommen. Das positiv polarisierte Ausgangssignal des Single-Channel-Analysers, sowie das unipolare Ausgangssignal des Hauptverstärkers wurden an das Linear-Gate übergeben. Das semigaussförmige Ausgangssignal des Linear-Gates wurde an den Multi-Channel-Analysen übergeben und am Rechner ausgelesen. Im Spektrum war nun demnach zu sehen welche Energien das am Single-Channel-Analysen eingestellte Fenster passieren konnten und welche nicht. Da man im zweiten Versuchsteil am 511 keV-Peak interessiert ist, wurde nun das Fenster im Normal-Mode so eingestellt, dass der interessante Peak das Fenster passieren

konnte, alle weiteren Signale jedoch abgeschnitten wurden. Dies war bei einem upper-Level von 1,9 und einem lower-Level von 1,0 der Fall. Der resultierende, durchgelassene Peak ist in Abb. 10 dargestellt. Um den Plastikszintillator zu verkabeln und einzustellen wurde

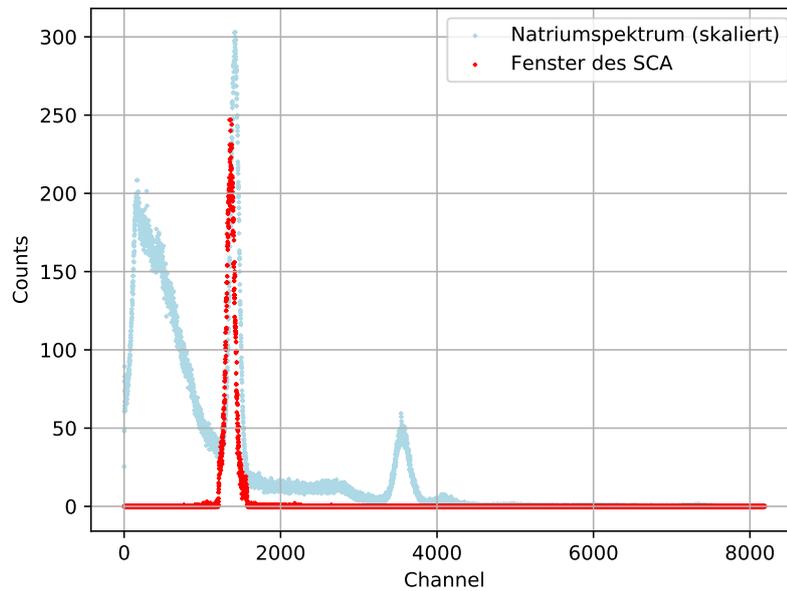


Abbildung 10: Peak, welcher bei dem gewählten Fenster gemessen wird im Vergleich zum (um den Faktor 5 skalierten) normalen Natriumspektrum.

zunächst das Signal des Vorverstärkers (Abb. 22 im Anhang) am Oszilloskop betrachtet und daraufhin eine Shaping-Time von $0,5 \mu\text{s}$ gewählt, da dies die kleinste mögliche Einstellung ist und dem gemessenen Abstand von Signaleinsatz zu Minimum am nächsten kommt. Der Plastikszintillator wurde nun ebenfalls an einen Hauptverstärker angeschlossen. Um die Verstärkung einzustellen wurde das unipolare Signal an den Multi-Channel-Analyser weitergegeben und am PC ausgelesen. Die Verstärkung wurde dann so eingestellt, dass nicht nur am Anfang des Spektrums ein riesiger Peak zu sehen war, sondern über das gesamte Spektrum hinweg Counts gemessen wurden, dies war bei einem Amplifier-Gain von 1 und einem Coarse-Gain von 200 der Fall. Das resultierende Spektrum ist in Abb. 11 dargestellt. Nun wurde auch das bipolare Signal des Plastikszintillators an den Single-Channel-Analyser angeschlossen. Hier wurden, ebenfalls im Normal-Mode das upper-level auf das Maximum und das lower-Level auf das Minimum gestellt, da ein Modifizieren des Signalfensters durch einen Single-Channel-Analyser ausreicht und es auch nicht möglich wäre aus dem Spektrum ein sinnvolles Energiefenster zu bestimmen.

Als nächstes wurden die negativen Ausgangssignale der beiden genutzten Single-Channel-Analyser an die Timing-Unit übergeben. Die beiden Ausgangssignale der Timing-Unit wurden nun an das Oszilloskop übergeben um dort den Überlapp einzustellen (siehe Abb. 6). Dabei ist auf mehrere Dinge zu achten: Zunächst hat der Single-Channel-Analyser mehrere Ausgänge, der out-Ausgang liefert hierbei das negativ polarisierte und der out-Ausgang liefert ein positiv polarisiertes Signal. Da die Koinzidenzeinheit, die die Signale später empfängt nur negativ polarisierte Signale verarbeitet, sollte also dieses betrachtet werden. Den Überlapp stellt man nun mit Hilfe des Delay-Rädchens am Single-Channel-Analyser ein, hier muss auch darauf geachtet werden, dass die gewählte Skala passt (dh. $1,1 \mu\text{s}$ beim Plastikszintillator und $0,1-1,1 \mu\text{s}$ beim NaI-Szintillator). Bei einem Delay von $6,1 \mu\text{s}$ beim

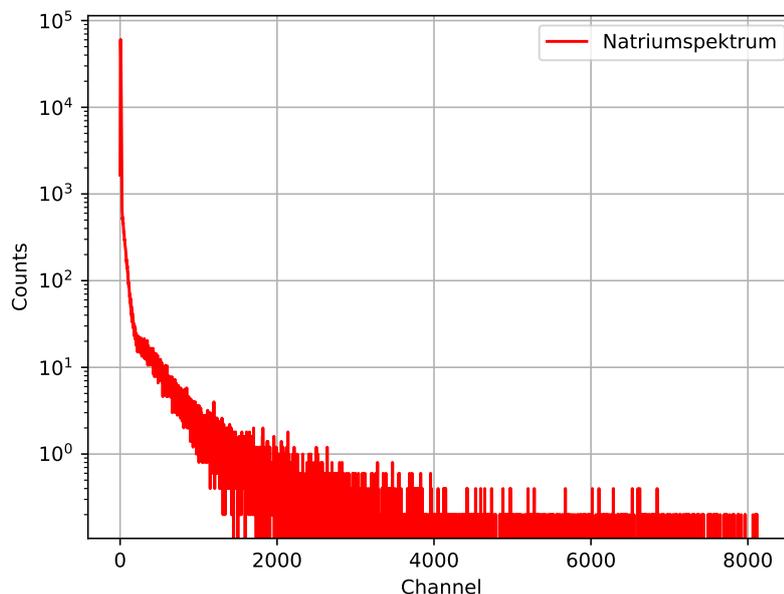


Abbildung 11: Spektrum des Plastiksintillators nach Einstellen des Verstärkers

Plastiksintillator und 1,0 beim NaI-Szintillator hat sich ein sinnvoller Überlapp gezeigt. Des weiteren wurden die kleinen Stellschrauben an der Timing-Unit genutzt, es wurden beide auf ungefähr 0,1 gestellt, um die Breite der Signale einzustellen. Ein zu breites Signal würde zu viele Übereinstimmungen messen, ein zu schmales Signal zu wenige.

Die beiden, überlappenden negativen Ausgangssignale der Timing-Units wurden nun an die Koinzidenzeinheit an die Eingänge *A* und *B* übergeben, die durch Drücken des Knöpfchens angeschaltet wurden. Die Koinzidenzeinheit gibt nun über den out-Ausgang ein Signal aus, welches vom Hex-Counter verarbeitet werden kann. Beim Hex-Counter wurde noch mit Hilfe eines Rädchens die Messzeit von 100 s eingestellt. Diese Zeit wurde gewählt, da eine längere Messzeit zu einem geringeren Fehler führt, die nächsthöhere Einstellung jedoch bei weitem die zur Verfügung stehende Versuchszeit überziehen würde.

Somit ist der Aufbau fertig verkabelt und es wurde ein kurzer Test durch Aufnehmen der Zählrate bei 0° (hohe Zählrate erwartet) und 90° (niedrige bis keine Zählrate erwartet) durchgeführt, der die erwarteten Ergebnisse geliefert hat. Daraufhin wurde eine vollständige Messreihe gestartet, bei der für unterschiedliche Winkel die Zählrate aufgenommen wurde. Im Bereich hoher Veränderung der Zählrate, also zwischen -10° und 10° wurden 1° -Abstände aufgenommen. Die genauen Messwerte sind dem Protokollheft im Anhang zu entnehmen.

Anmerkungen zu Fehlern bei der Durchführung Im ersten Versuch den zweiten Versuchsteil durchzuführen, wurde als Ausgangssignal der Timing-Unit, welches dann an die Koinzidenzeinheit weitergegeben wurde das positiv gepolte Signal gewählt. Dies hätte eigentlich nicht zu irgendwelchen Ergebnissen führen sollen, da aber an der Koinzidenzeinheit der linear-Out aus Ausgang gewählt wurde, hat die Messung trotzdem sinnvolle Ergebnisse erzielt und der Fehler ist zunächst nicht aufgefallen. Auch nach der Auswertung ist nicht genau klar, was bei dieser falschen Verkabelung gemessen wurde.

4 Auswertung und Fehleranalyse

4.1 Gauss-Fits

Da in der folgenden Auswertung der Messdaten sehr häufig Gauss-Fits durchgeführt werden, wird an dieser Stelle einmal das Vorgehen beschrieben. Zur Erstellung der Gauss-Fits wird die Funktion `curve_fit` aus dem Pythonmodul `scipy.optimize` verwendet. Diese Funktion nutzt die Methode der kleinsten Quadrate für einen Modell-Fit. Als Fit-Funktion wird

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) + C \quad (8)$$

verwendet wobei μ den Lageparameter, σ den Streuparameter A die Fläche unter der Gausskurve und C den Off-Set der Funktion beschreiben. Die genutzte Funktion nimmt außerdem die Fehler auf die y -Achse entgegen, um so eine Gewichtung der Messpunkte zu gewährleisten. In der folgenden Auswertung werden die Gauss-Fits zu Gunsten der Übersichtlichkeit nicht vergrößert dargestellt. Um jedoch das Vorgehen zu verdeutlichen ist in Abb. 12 der Fit des 511 keV-Peaks von Natrium dargestellt. Bei der Wahl der Fit-

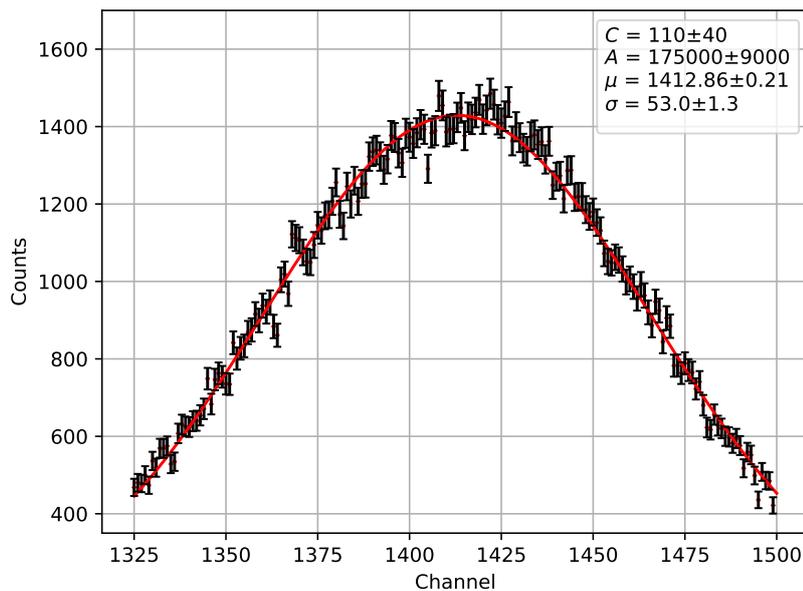


Abbildung 12: In dieser Abbildung ist vergrößert der Fit des 511 keV-Natriumpeaks dargestellt.

Fenster wurde versucht genau den Bereich zu wählen in dem das Signal symmetrisch ist, in einigen Fällen jedoch wurde zu Gunsten der Stichprobengröße auf einer Seite mehr Punkte gewählt, wenn dies sinnvoll erschien.

4.2 Untergrund

In der folgenden Auswertung werden alle Datensätze um den Untergrund bereinigt. Dies erfolgt unter Verwendung von

$$N_{\text{korr.}} = N_{\text{gem.}} - \frac{t_{\text{gem.}}}{t_{\text{untergr.}}} \cdot N_{\text{untergr.}} \quad (9)$$

Da auf die Counts der Poisson-Fehler $s_N = \sqrt{N}$ gilt. Erhält man für die korrigierte Anzahl an Counts $N_{\text{korrr.}}$ durch Gaussche Fehlerfortpflanzung den Fehler

$$s_{N_{\text{korrr.}}} = \sqrt{N_{\text{gem.}} + \frac{t_{\text{gem.}}^2}{t_{\text{untergr.}}^2} N_{\text{untergr.}}} \quad (10)$$

Die Untergrundmessung ist in Abb. 13 dargestellt. Im Spektrum der Untergrundmessung fällt ein Peak auf welcher nach Durchführung der Energieeichung diskutiert wird.

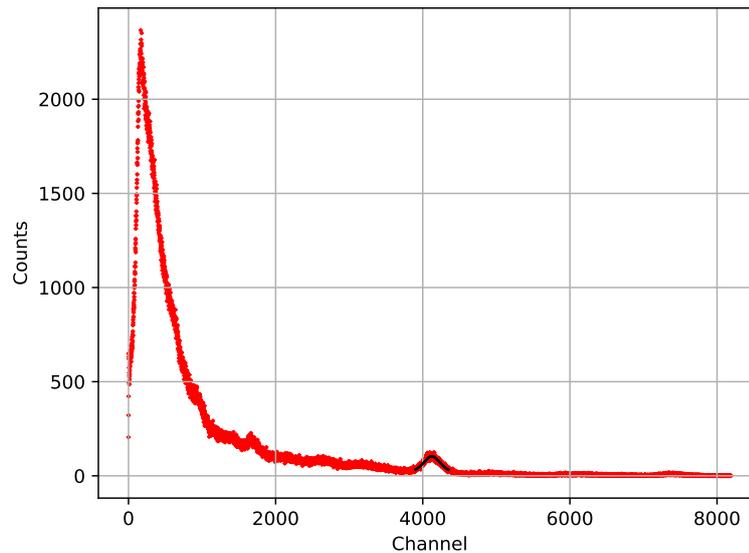


Abbildung 13: In dieser Abbildung ist das gemessene Untergrundspektrum dargestellt. Der auffällige Peak wurde gefittet (schwarz) und wird später diskutiert.

4.3 Energieeichung des Multi-Channel-Analyzers

Zur Energieeichung wurden die Spektren von Natrium, Cobalt und Europium aufgenommen und bekannte Peaks gefittet, sodass unter Zuhilfenahme der bekannten Peakenergien eine Eichgerade ermittelt werden kann. Die Messung des Natriumspektrums ist in Abb. 14 dargestellt. Zur Bestimmung der Peakpositionen wurden, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, Gauss-Fits durchgeführt. Die Fits sind im Anhang einzusehen. Es wurden für die beiden Natriumpeaks folgende Wertepaare ermittelt,

$$\begin{aligned} 511 \text{ keV} &\leftrightarrow (1412,86 \pm 0,21) \text{ Channel} \\ 1274,6 \text{ keV} &\leftrightarrow (3557,5 \pm 0,6) \text{ Channel}, \end{aligned}$$

wobei der Fehler auf den Lageparameter durch den Fehler auf den Fit gegeben ist. Die Messung des Cobaltspektrums ist in Abb. 15 dargestellt. Auch hier wurden zur Ermittlung der Peakpositionen Gauss-Fits durchgeführt. Für Cobalt ließen sich die folgenden Wertepaare ermitteln:

$$\begin{aligned} 1173,2 \text{ keV} &\leftrightarrow (3267,38 \pm 0,28) \text{ Channel} \\ 1332,5 \text{ keV} &\leftrightarrow (3713,8 \pm 0,3) \text{ Channel}. \end{aligned}$$

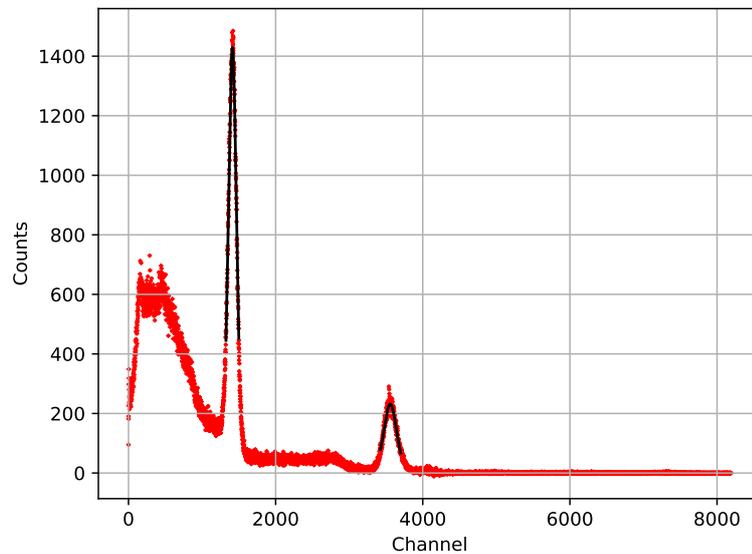


Abbildung 14: In dieser Abbildung ist das gemessene Natriumspektrum dargestellt. In schwarz sind die durchgeführten Gauss-Fits eingezeichnet, welche im Anhang nochmal vergrößert einzusehen sind.

Das letzte zur Energieeichung aufgenommene Spektrum ist das von Europium. Auch hier wurden Gauss-Fits durchgeführt, welche im Anhang einzusehen sind. Das aufgenommene Spektrum ist in Abb. 16 dargestellt. Für Europium wurden sechs Peaks 6 Energien

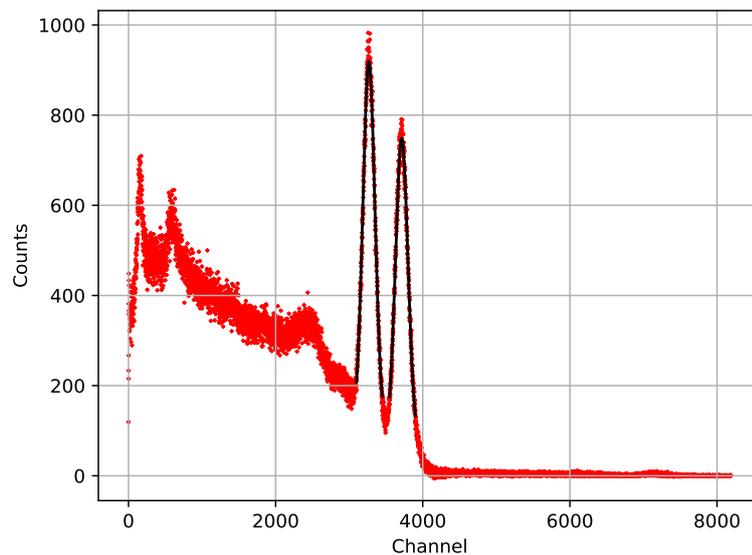


Abbildung 15: In dieser Abbildung ist das gemessene Cobaltspektrum dargestellt. In schwarz sind die durchgeführten Gauss-Fits eingezeichnet, welche im Anhang vergrößert einzusehen sind.

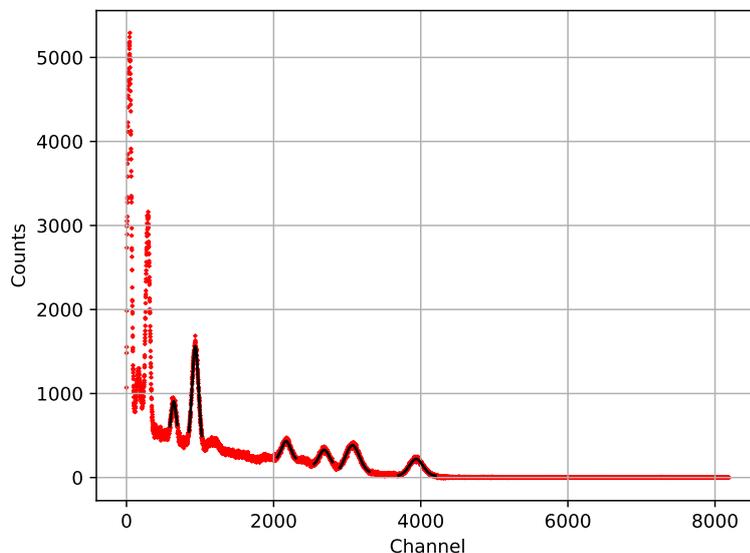


Abbildung 16: In dieser Abbildung ist das gemessene Europiumspektrum dargestellt. In schwarz sind die durchgeführten Gauss-Fits eingezeichnet, welche im Anhang vergrößert dargestellt sind.

zugeordnet. Die sich so ergebenden Wertepaare sind:

$$\begin{aligned}
 122 \text{ keV} &\leftrightarrow (641,1 \pm 0,6) \text{ Channel} \\
 344 \text{ keV} &\leftrightarrow (934,07 \pm 0,21) \text{ Channel} \\
 779 \text{ keV} &\leftrightarrow (2169,0 \pm 0,6) \text{ Channel} \\
 964 \text{ keV} &\leftrightarrow (2687,8 \pm 0,8) \text{ Channel} \\
 1112 \text{ keV} &\leftrightarrow (3070,6 \pm 0,5) \text{ Channel} \\
 1408 \text{ keV} &\leftrightarrow (3937,1 \pm 0,6) \text{ Channel}
 \end{aligned}$$

Trägt man nun die so ermittelten Channel gegen die dazugehörigen Energien auf und führt eine lineare Regression durch, lässt sich die Eichgerade ermitteln. Die Aufgetragenen Werte und die gewichtete lineare Regression sind in Abb. 17 dargestellt. Um die Fehler auf die durch die Gauss-Fits ermittelten Fehler in der linearen Regression berücksichtigen zu können, wurde zunächst die Energie auf die x -Achse und die Channel auf die y -Achse aufgetragen. Die Parameter der linearen Regression der Form $C = \alpha \cdot E + \beta$, wobei C die Channelnummer und E die Peakenergie sind, betragen

$$\begin{aligned}
 \alpha &= (2,76 \pm 0,05) \frac{1}{\text{keV}} \\
 \beta &= 20 \pm 40.
 \end{aligned}$$

Um aus diesen Werten die Eichgerade zu ermitteln muss zunächst

$$C = \alpha \cdot E + \beta \implies E = \frac{1}{\alpha} \cdot C - \frac{\beta}{\alpha} \quad (11)$$

genutzt werden. Die Steigung kann nun mit $\gamma = 1/\alpha$ berechnet werden und der y -Achsenabschnitt kann mit $\delta = -\beta/\alpha$ bestimmt werden. Für die Fehler auf diese Größen

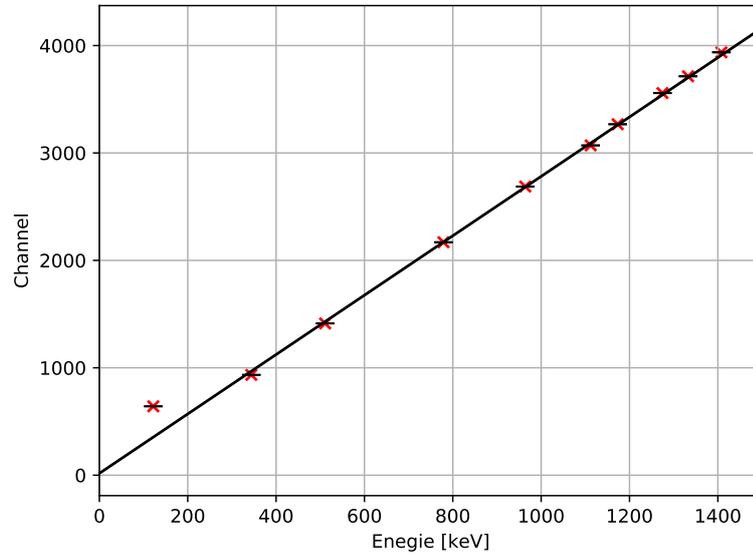


Abbildung 17: In dieser Abbildung wurden die bestimmten Channel gegen die dazugehörigen Energien aufgetragen und eine lineare Regression (schwarz) durchgeführt.

erhält man dann unter Verwendung der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$s_\gamma = \frac{s_\alpha}{\alpha} \quad (12)$$

$$s_\delta = \sqrt{\left(\frac{s_\beta}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\beta}{\alpha^2} s_\alpha\right)^2}. \quad (13)$$

Somit erhält man für die Eichgerade

$$E = \gamma \cdot C + \delta = (0,362 \pm 0,007) \text{ keV} \cdot C - (6 \pm 16) \text{ keV}. \quad (14)$$

Der Fehler auf die mit der Eichgeraden bestimmten Energien lassen sich demnach mit

$$s_E = \sqrt{(C \cdot s_\gamma)^2 + (\gamma \cdot s_C)^2 + s_\delta^2} \quad (15)$$

bestimmen. Dies wird im folgenden auch verwendet um die Fehler auf die Energien der gemessenen Thoriumpeaks zu berechnen, wobei der Channel C dann dem Lageparameter μ und der Fehler s_C dem Fehler s_μ des jeweiligen Thoriumpeaks entsprechen.

4.4 Der Untergrundpeak

Wie in Abschnitt 4.2 bereits erwähnt ist im Untergrundspektrum ein auffälliger Peak zu sehen. In Abb. 18 ist der Fit des Untergrundpeaks vergrößert dargestellt. Unter Verwendung

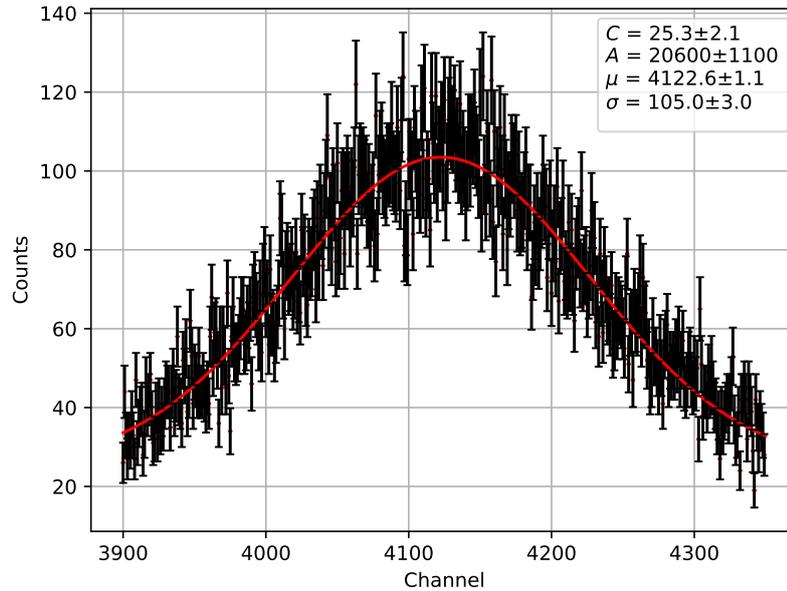


Abbildung 18: In dieser Abbildung ist der im Untergrundspektrum auffällige Peak vergrößert dargestellt.

der Eichgeraden war es möglich dem Ermittelten Lageparameter des Peaks die folgende Energie zuzuweisen:

$$(4122,6 \pm 1,1) \text{ Channel} \implies (1480 \pm 30) \text{ keV.}$$

In der späteren Diskussion (Abschnitt 5) wird auf diesen Wert vertiefend eingegangen.

4.5 Das Thoriumspektrum

Das aufgenommene Thoriumspektrum ist in Abb. 19 dargestellt. Auch hier wurde für alle auffindbaren Peaks ein Gauss-Fit durchgeführt. Die einzelnen Fits sind zu Gunsten der Übersichtlichkeit im Anhang einzusehen. Die durch die Fits erhaltenen Parameter und mit Gleichung (14) und Gleichung (15) berechneten Energien sind in Tabelle 1 aufgelistet. Es wurde nun weiterhin versucht die gemessenen Peaks den jeweiligen Zerfällen zuzuordnen. Für diesen Zweck wurden unter Verwendung von [An1] die gemessenen Werte verglichen. Es wurde versucht hierbei die Zerfallswahrscheinlichkeit und die Halbwertszeit des jeweiligen Zerfalls bzw. Übergangs zu berücksichtigen.

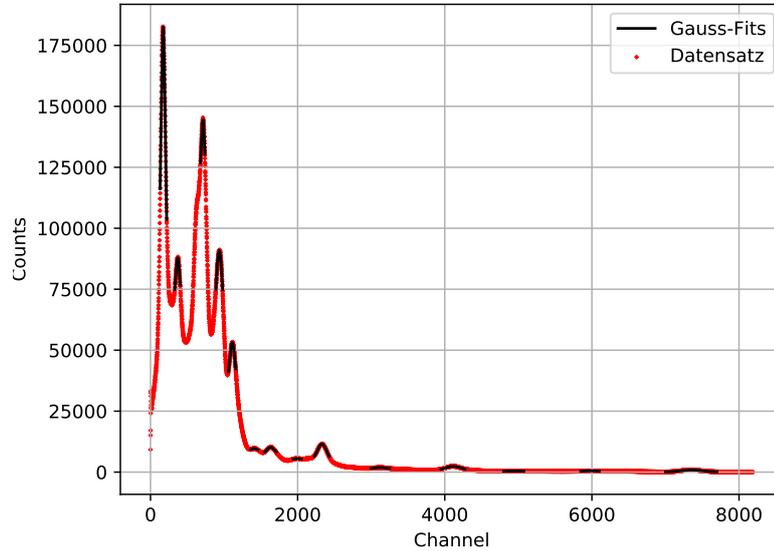


Abbildung 19: In dieser Abbildung ist das gemessene Thoriumspektrum dargestellt. In schwarz sind die durchgeführten Gauss-Fits eingezeichnet. Diese Gauss-Fits sind im Anhang vergrößert dargestellt.

Tabelle 1: In dieser Tabelle sind die durch die Gauss-Fits erhaltenen Peaklagen und die daraus berechneten Energien aufgelistet.

Channel	$E_{\text{gem.}}$ [keV]	E_{theo} [keV]	Übergang
$171,54 \pm 0,10$	56 ± 16	84.4	$^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$
$369,91 \pm 0,15$	128 ± 16	131.6	$^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$
$712,35 \pm 0,13$	251 ± 16	240.99 & 238.63	$^{224}\text{Ra} \rightarrow ^{220}\text{Rn} \& ^{212}\text{Pb} \rightarrow ^{212}\text{Bi}$
$934,87 \pm 0,15$	332 ± 17	300.1	$^{212}\text{Pb} \rightarrow ^{212}\text{Bi}$
$1112,17 \pm 0,15$	396 ± 17	415.2 & 404.2	$^{212}\text{Pb} \rightarrow ^{212}\text{Bi} \& ^{224}\text{Ra} \rightarrow ^{220}\text{Rn}$
$1409,1 \pm 0,9$	503 ± 18	510.8	$^{208}\text{Tl} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$
$1633,2 \pm 0,3$	585 ± 19	583.2	$^{208}\text{Tl} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$
$1996,8 \pm 1,5$	716 ± 20	700.5	$^{228}\text{Th} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$ (unwahrscheinlich)
$2329,92 \pm 0,16$	837 ± 22	804.9	$^{216}\text{Po} \rightarrow ^{212}\text{Pb}$
$3116,0 \pm 1,0$	1121 ± 26	1160.8	$^{208}\text{Tl} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$
$4113,2 \pm 0,3$	1481 ± 31	1512.8	$^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{212}\text{Po}$
$4946,2 \pm 2,5$	1783 ± 36	1744	$^{208}\text{Tl} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$
$5968,3 \pm 1,5$	2152 ± 42	2163	$^{228}\text{Th} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$ (unwahrscheinlich)
$7354,5 \pm 0,5$	2654 ± 51	2614.5	$^{208}\text{Tl} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$

4.6 Koinzidenzmessung

Der Zerfall des Positroniums sagt aufgrund der Impulserhaltung voraus, dass bei der Annihilation des Elektron-Positron-Paares zwei Photonen mit gleicher Energie im 180° -Winkel zueinander emittiert werden. Es wurden nun gleichzeitig auftretende Ereignisse bei der ausgewählten Energie von ca. einer Elektronenmasse gemessen und dabei den Winkel der beiden Detektoren zueinander geändert. Trägt man die so erhaltenen Counts gegen den Winkel auf erhält man den in Abb. 20 dargestellten Zusammenhang. Es wurde zur Bestimmung der Lage des Maximums ein Gauss-Fit durchgeführt. Der Gauss-Fit liefert einen Lageparameter von

$$\mu_1 = (-0,81 \pm 0,13)^\circ. \quad (16)$$

Die Angabe der Winkel entspricht der Abweichung von dem 180° -Winkel. Es wurde bei diesem Versuch zunächst ein falscher Aufbau der Messgeräte benutzt, denn es wurde eine falsche Polarität eingestellt und von der Koinzidenzeinheit der falsche Ausgang gewählt. Diese Messung führt allerdings zu nahezu demselben Ergebnis. Die Messung mit dem falschen Aufbau ist in Abb. 21 dargestellt. Die Messung mit dem falschen Aufbau führt zu

$$\mu_2 = (-0,76 \pm 0,15)^\circ. \quad (17)$$

Bei dieser Messung wurde von einer Analyse des Untergrunds abgesehen, da es nur möglich gewesen wäre einen konstanten Untergrund abzuziehen, was die Ergebnisse des Gauss-Fits nicht verändern sollte und nur für einen größeren Fehler auf die Messpunkte sorgen würde.

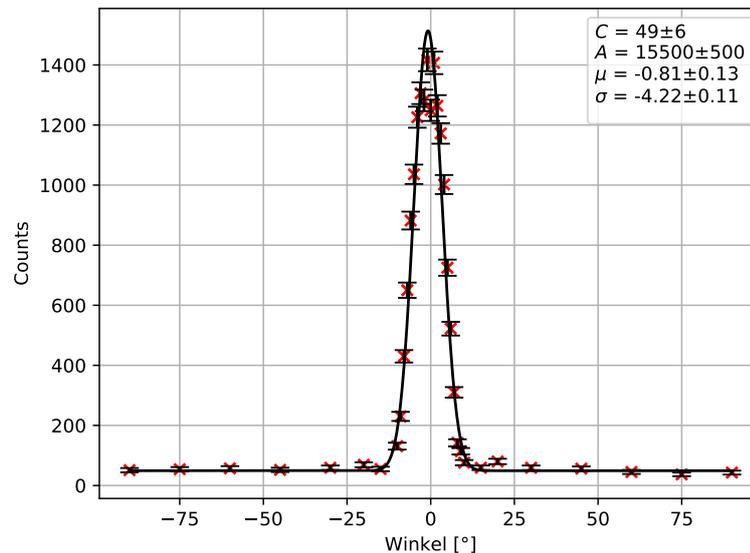


Abbildung 20: In dieser Abbildung sind die Ergebnisse der Koinzidenzmessung dargestellt. Ein Gauss-Fit (schwarz) wurde berechnet um die Lage des Maximums zu bestimmen.

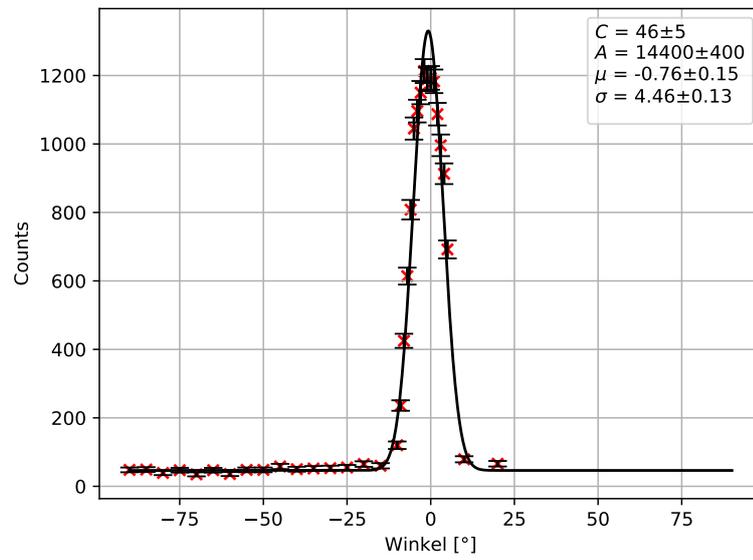


Abbildung 21: In dieser Abbildung sind die Ergebnisse der Koinzidenzmessung bei falschem Aufbau dargestellt. Ein Gauss-Fit (schwarz) wurde berechnet um die Lage des Maximums zu bestimmen.

5 Diskussion der Ergebnisse

Es war möglich den im Thoriumspektrum gemessenen Energien jeweils einen oder mehrere Übergänge zuzuordnen. Da die Auflösung des Szintillators jedoch nicht auszureichen scheint ist eine zweifelsfreie Zuordnung nicht erreichbar. Es war weiterhin sehr schwer einzuschätzen ob es sich bei den Peaks auch wirklich um die jeweiligen Übergänge handelt, da diese oftmals nach einer Reihe von Prozessen stattfinden die alle eine Halbwertszeit und Wahrscheinlichkeit haben.

Die Eichung des Multi-Channel-Analyzers ist vermutlich die größte Fehlerquelle der Auswertung. In dem ermittelten Datensatz befindet ich ein Ausreißer, welcher für größere Fehler auf die Fit-Parameter der linearen Regression verantwortlich ist. Aufgrund dessen ist es möglich, dass die Fehler auf die Energieeichung überschätzt worden sind. Da jedoch keine Erklärung für den Ausreißer gefunden wurde, wurde dieser nicht vernachlässigt sonder in die Eichung mit einbezogen. Eine Möglichkeit wäre, dass der Zusammenhang zwischen Channel und Energie nicht linear ist. Möglicherweise ist die Linearität des Zusammenhangs nicht für kleine Energien gegeben, da die Eichungsmessung jedoch nur einen kleinen Teil der Channel ausnutzt, ist es nicht möglich diese These beispielsweise auch für hohe Energien zu testen.

Der im Untergrund befindliche Peak lag bei einer Energie von

$$E_{\text{Peak}} = (1480 \pm 30) \text{ keV.}$$

Eine Erklärung für diesen Peak wäre der Zerfall von ^{40}K in angeregtes ^{40}Ar welches beim Vorgang der Abregung ein γ -Quant der Energie 1460,9 keV[ZU] emittiert. Dieses Kaliumisotop ist die am häufigsten vorkommende Quelle radioaktiver Strahlung in menschlichen und tierischen Organismen[IntCh]. Es kann also sein, dass die anwesenden Studierenden Ursache für den Peak sind. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass der Umstand, dass im Versuchslabor gegenüber der Versuch „Lange Halbwertszeiten“ ein Kaliumpräparat verwendet wird die Ursache für diesen Peak ist.

Bei der Koinzidenzmessung wurde für den Winkel unterdem die Photonen bei dem Positroniumzerfall emittiert werden eine Abweichung von 180° um

$$\mu_1 = (-0,81 \pm 0,13)^\circ$$

ermittelt. Die Abweichung liegt in einer 7σ -Region um den erwarteten Wert von 0° . Dies ist vermutlich durch einen systematischen Fehler der Winkelskala zu erklären, da die Messung, welche mit falschem Aufbau durchgeführt wurde einen Off-Set in dieselbe Richtung aufweist. Aus den Daten der Messung mit falschem Aufbau wurde ein Winkel von

$$\mu_2 = (-0,76 \pm 0,15)^\circ \quad (18)$$

ermittelt. Da der Aufbau dieser Messung jedoch Fehlerhaft war muss die Aussagekraft der Messung angezweifelt werden, da wir uns nicht sicher sind warum diese Messung überhaupt ein sinnvolles Ergebniss geliefert hat. Der Vollständigkeit halber empfanden wir es jedoch als sinnvoll diese Messung auch auszuwerten. Neben einem eventuellen systematischen Off-set der Winkelskala zeigte diese ganz generell mangelhafte Genauigkeit. Die 5° -Schritte sind durch Linien markiert, jedoch ist es bei der Größe des Aufbaus schwierig nachzuvollziehen, wie akkurat die Markierungen sind. Die kleineren Schritte wurden mit Hilfe eines Lineals nach Augenmaß geschätzt, was vermutlich keine besseren Werte liefert. Da es aber durch die Unkenntnis über die Platte sehr schwierig ist, sinnvolle Fehler abzuschätzen und riesige, aber nicht sinnvolle Fehler in einem Fit, wie er in diesem Auswertungsteil verlangt war definitiv nicht zu guten Ergebnissen führen, wurden die Winkelfehler vernachlässigt. Somit ist das erhaltene Ergebnis vermutlich sinnvoll, jedoch ist es sehr wahrscheinlich, dass es den tatsächlichen Fehler unterschätzt.

A Anhang



Abbildung 22: Signal des Vorverstärkers des Plastiksintillators

B Gauss-Fits

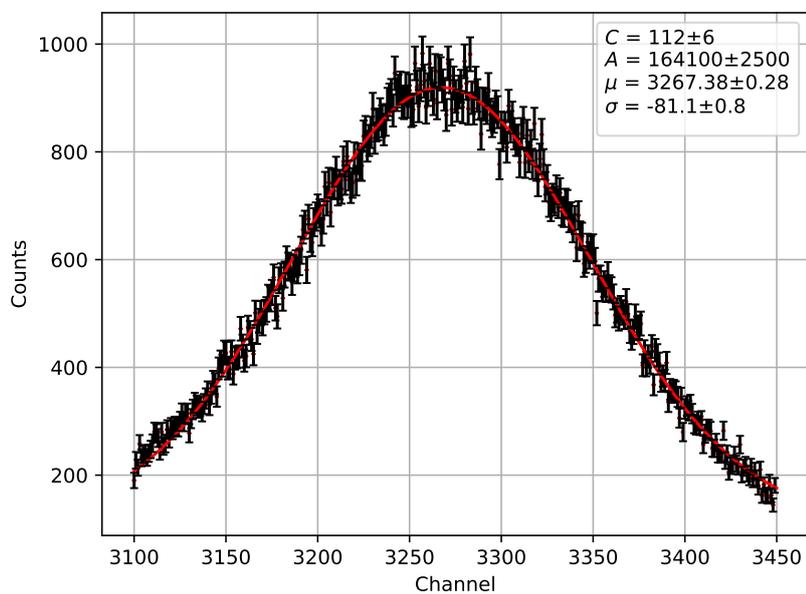


Abbildung 23: Vergrößerte Darstellung des ersten Cobaltpeaks

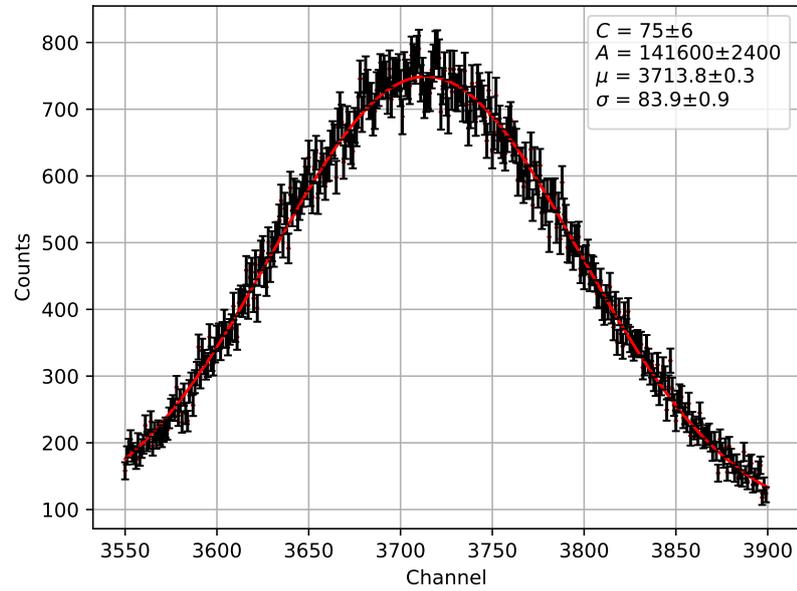


Abbildung 24: Vergrößerte Darstellung des zweiten Cobaltpeaks

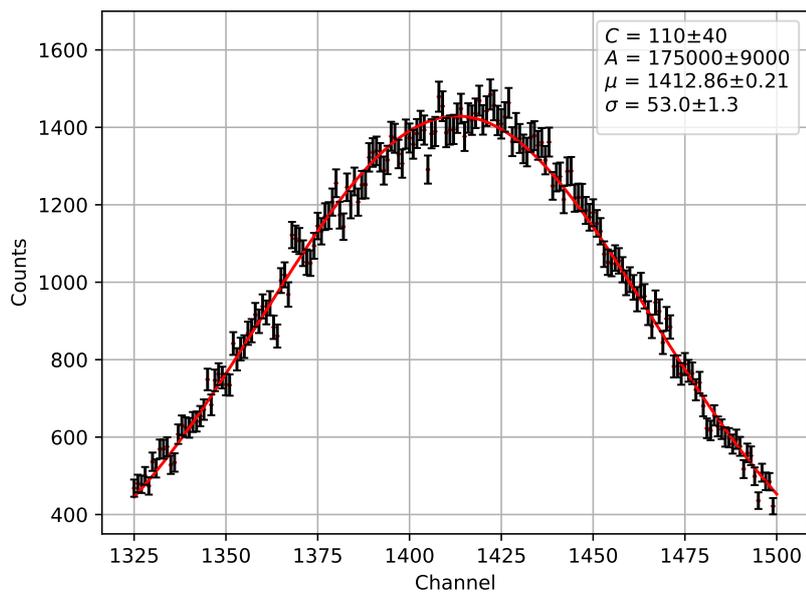


Abbildung 25: Vergrößerte Darstellung des ersten Natriumpeaks

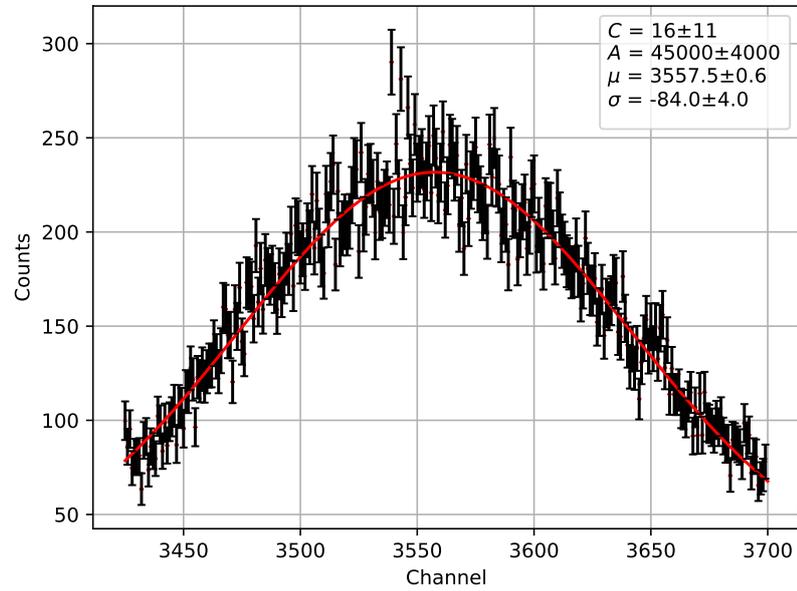


Abbildung 26: Vergrößerte Darstellung des ersten Natriumpeaks

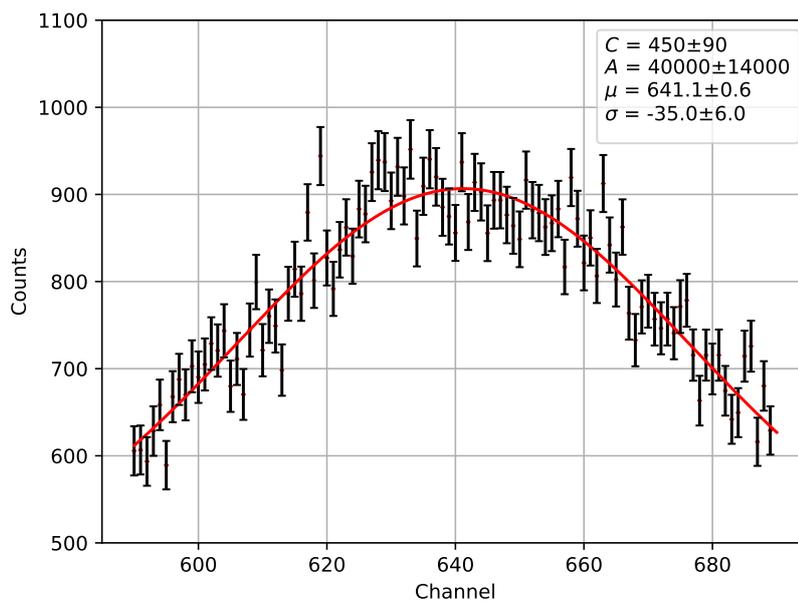


Abbildung 27: Vergrößerte Darstellung des ersten Europiumpeaks

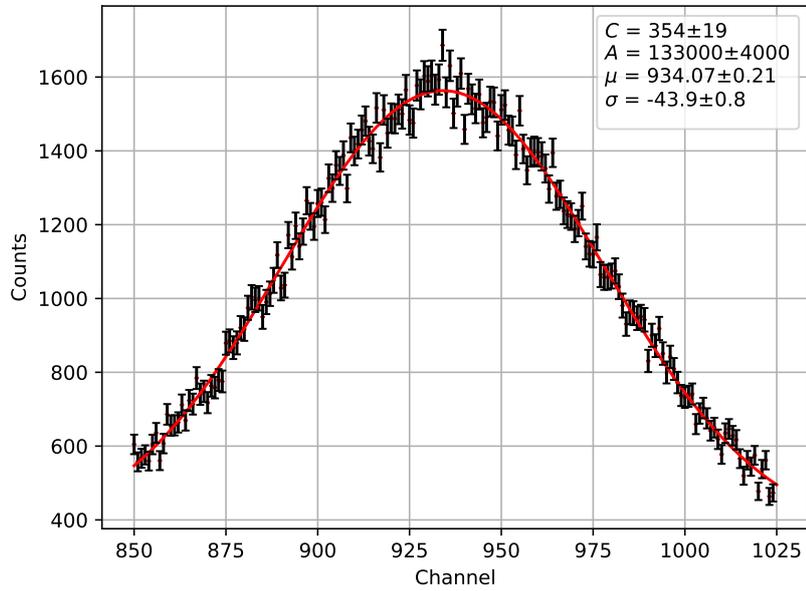


Abbildung 28: Vergrößerte Darstellung des zweiten Europiumpeaks

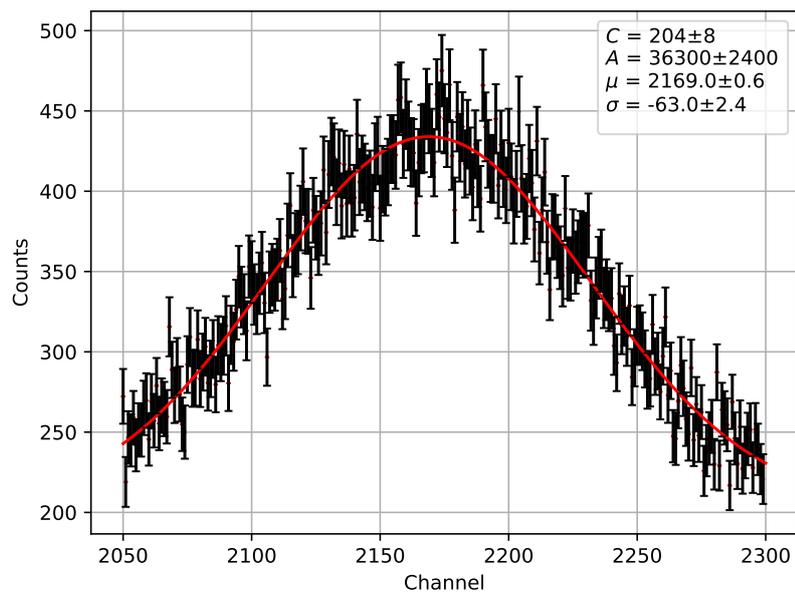


Abbildung 29: Vergrößerte Darstellung des dritten Europiumpeaks

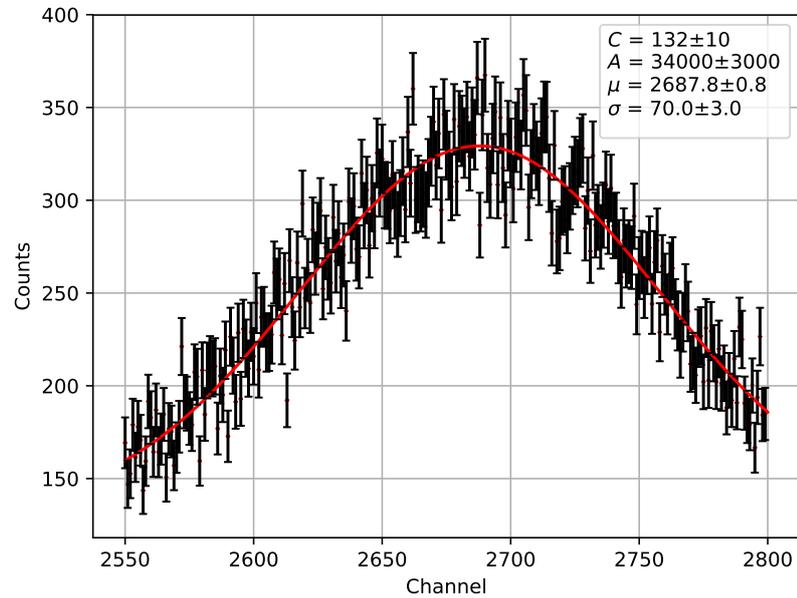


Abbildung 30: Vergrößerte Darstellung des vierten Europiumpeaks

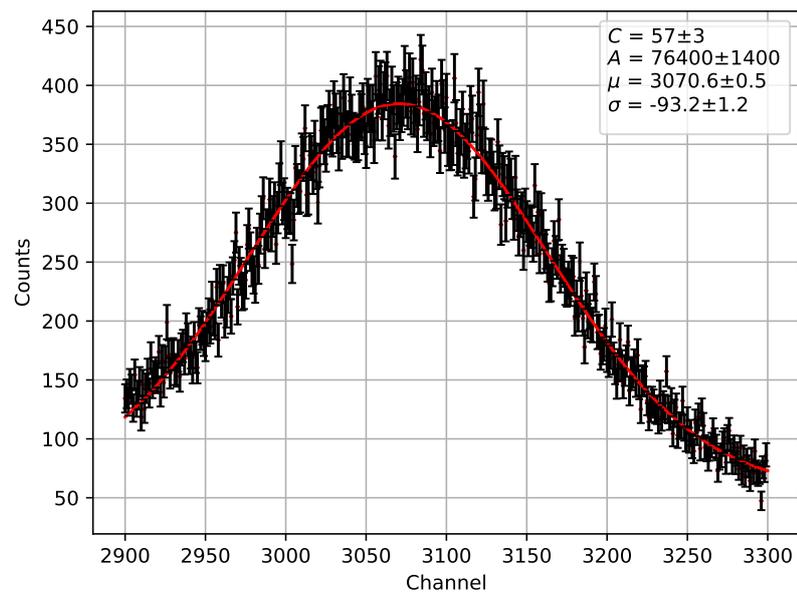


Abbildung 31: Vergrößerte Darstellung des fünften Europiumpeaks

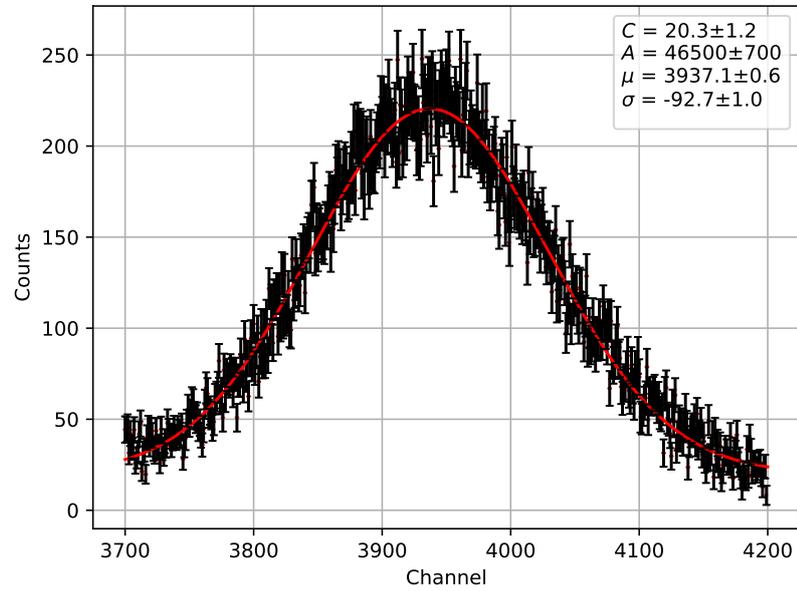


Abbildung 32: Vergrößerte Darstellung des sechsten Europiumpeaks

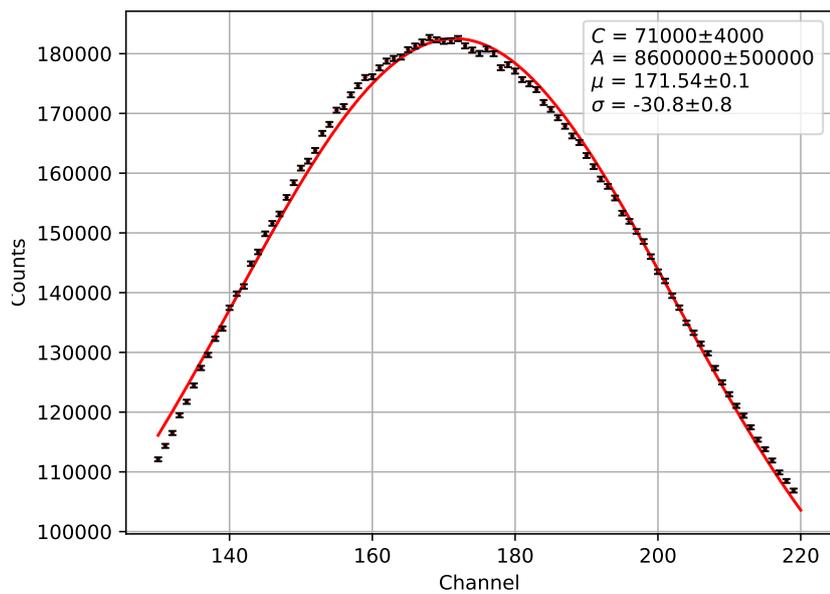


Abbildung 33: Vergrößerte Darstellung des ersten Thoriumpeaks

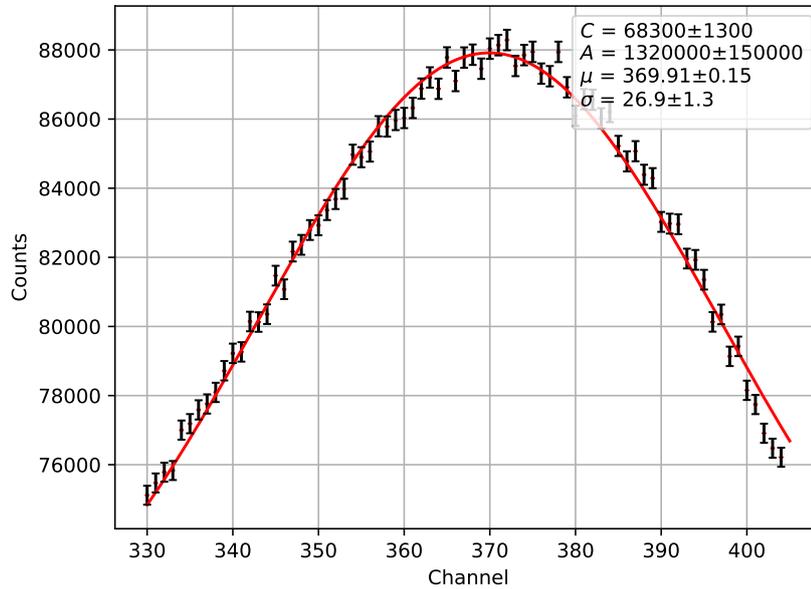


Abbildung 34: Vergrößerte Darstellung des zweiten Thoriumpeaks

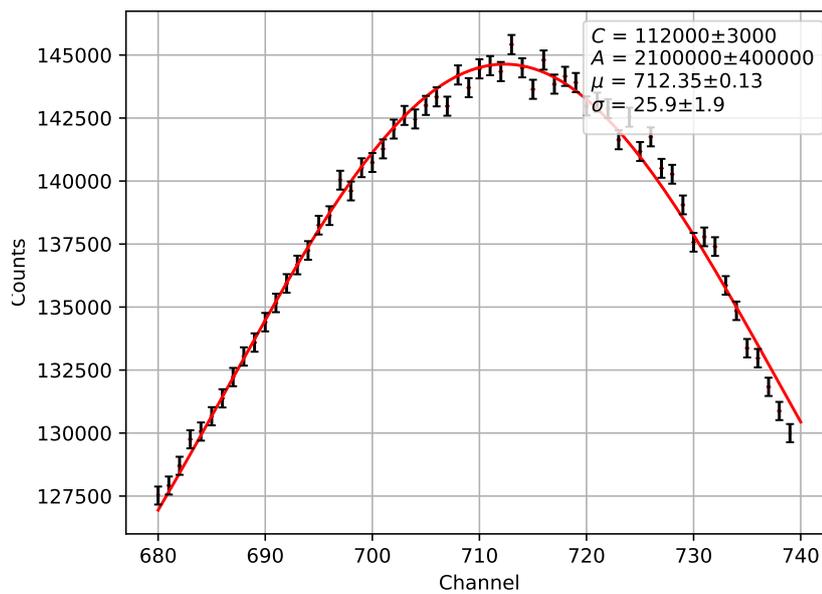


Abbildung 35: Vergrößerte Darstellung des dritten Thoriumpeaks

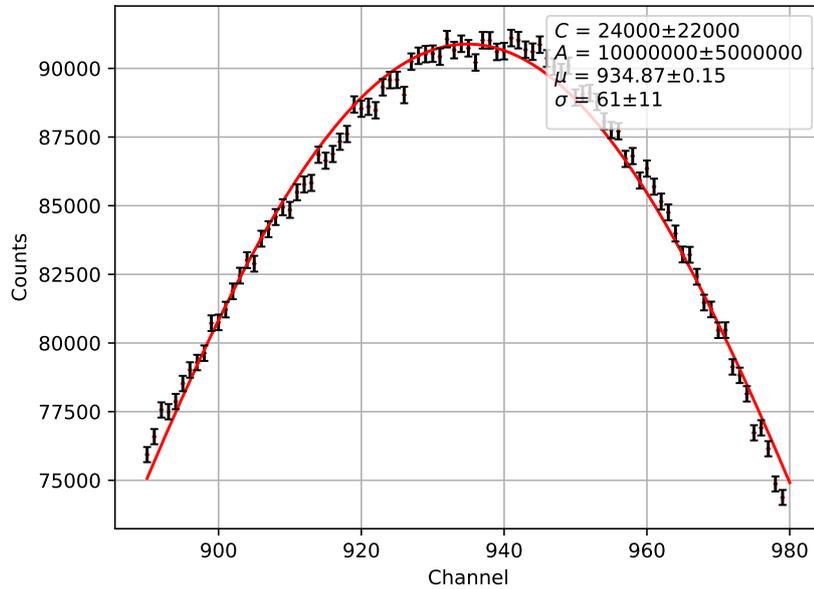


Abbildung 36: Vergrößerte Darstellung des vierten Thoriumpeaks

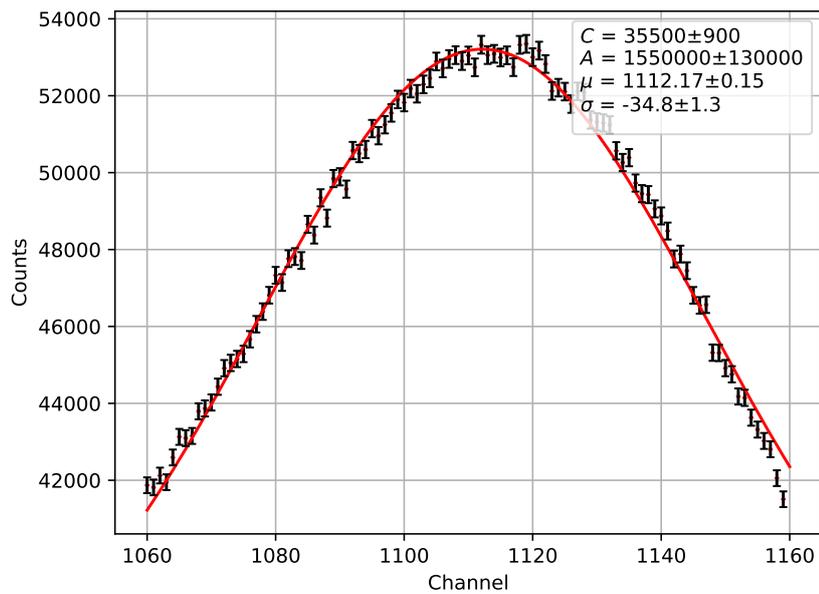


Abbildung 37: Vergrößerte Darstellung des fünften Thoriumpeaks

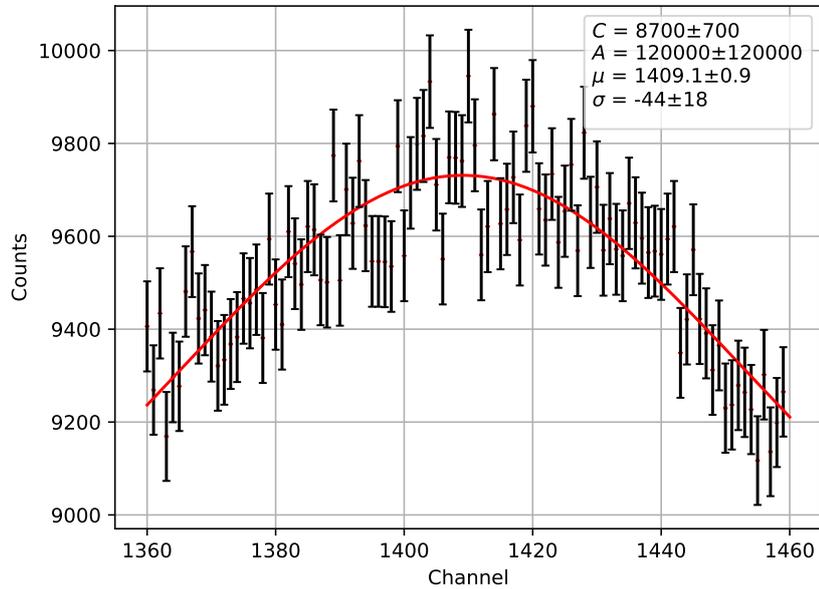


Abbildung 38: Vergrößerte Darstellung des sechsten Thoriumpeaks

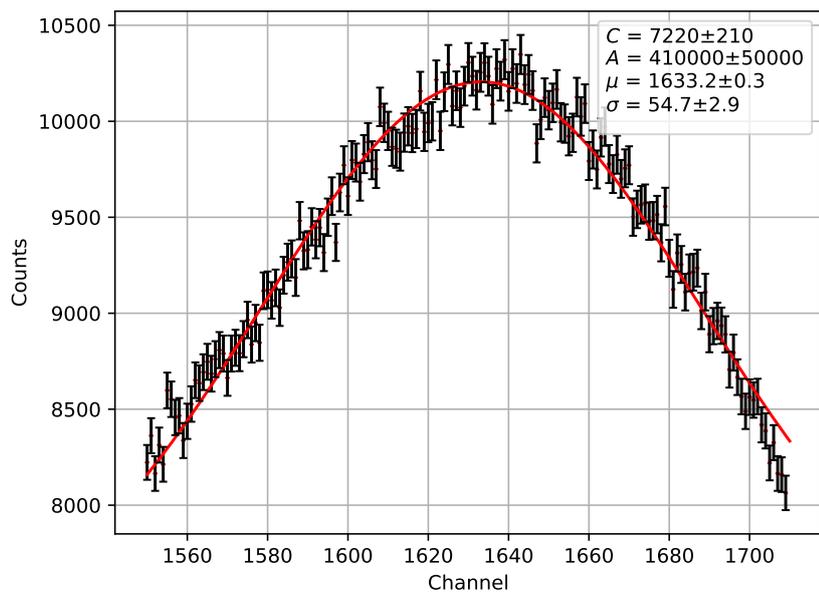


Abbildung 39: Vergrößerte Darstellung des siebten Thoriumpeaks

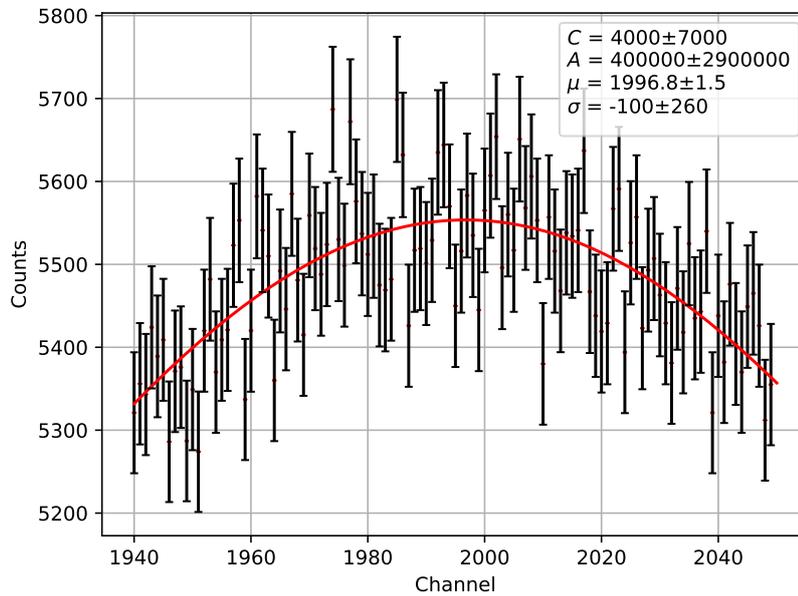


Abbildung 40: Vergrößerte Darstellung des achten Thoriumpeaks

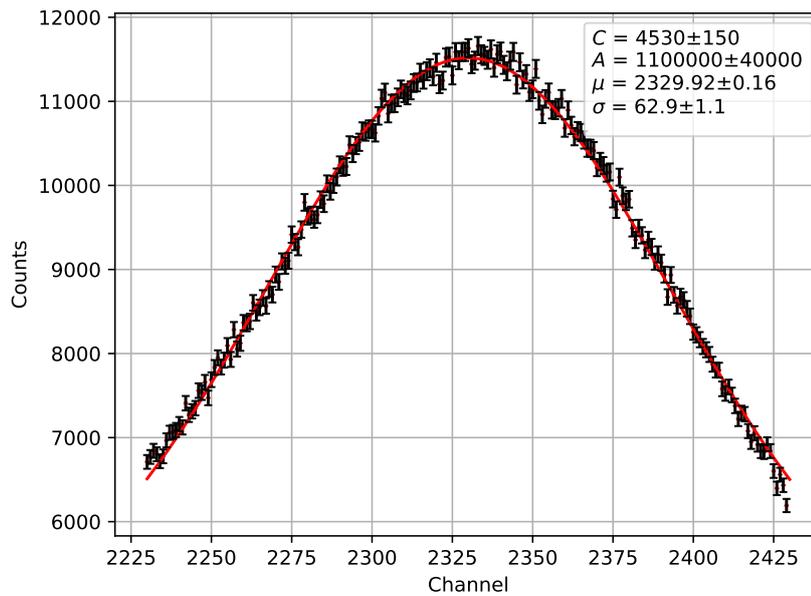


Abbildung 41: Vergrößerte Darstellung des neunten Thoriumpeaks

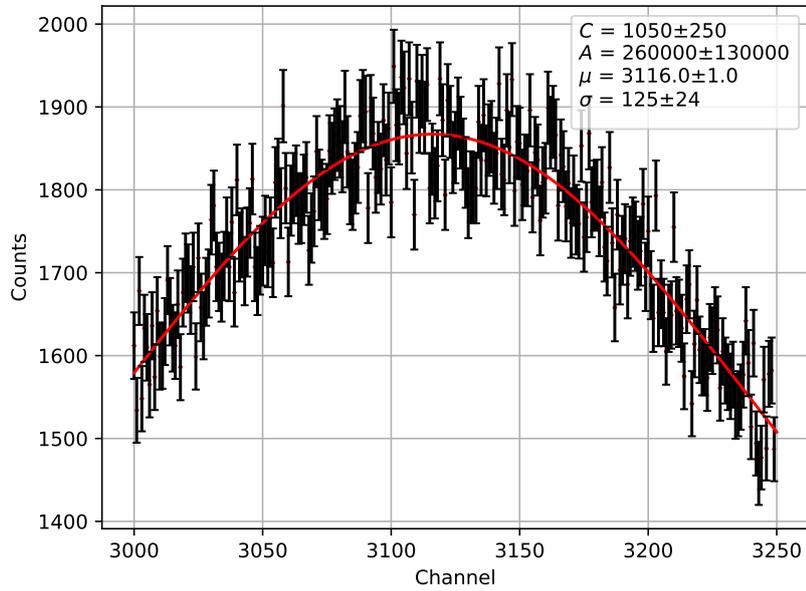


Abbildung 42: Vergrößerte Darstellung des zehnten Thoriumpeaks

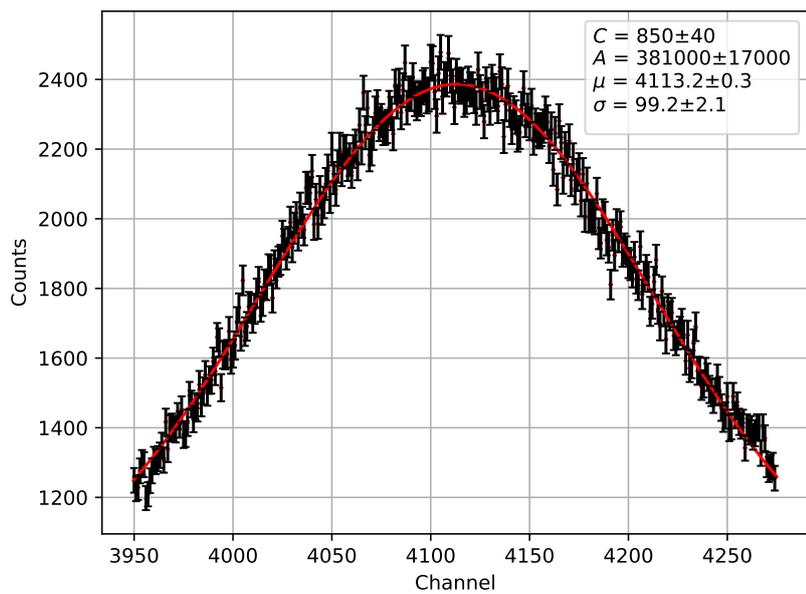


Abbildung 43: Vergrößerte Darstellung des elften Thoriumpeaks

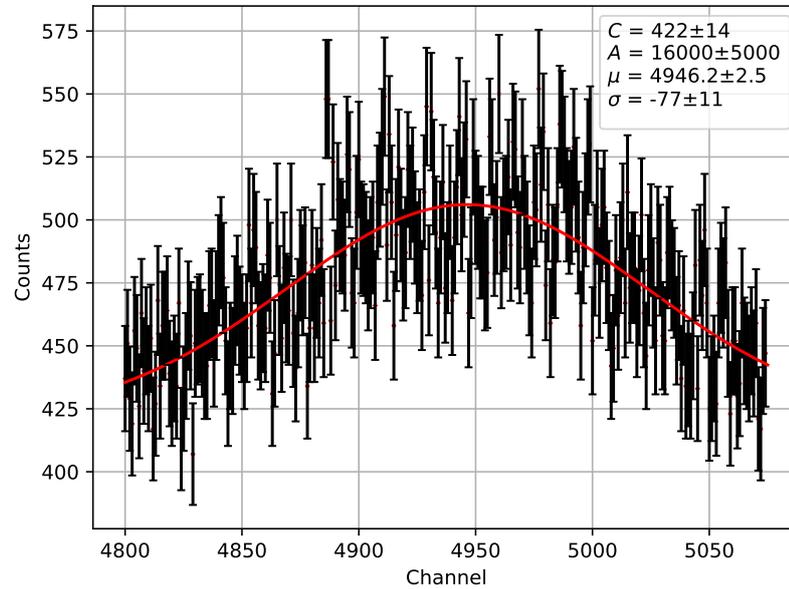


Abbildung 44: Vergrößerte Darstellung des zwölften Thoriumpeaks

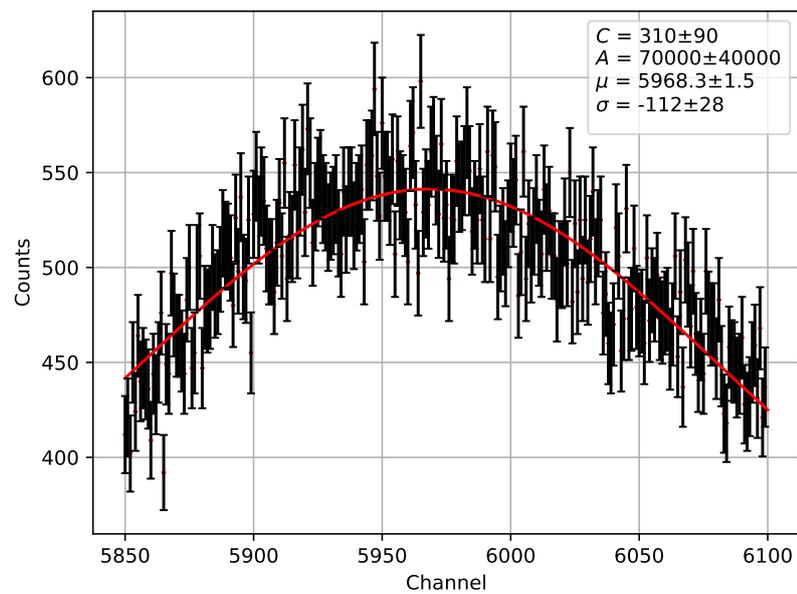


Abbildung 45: Vergrößerte Darstellung des dreizehnten Thoriumpeaks

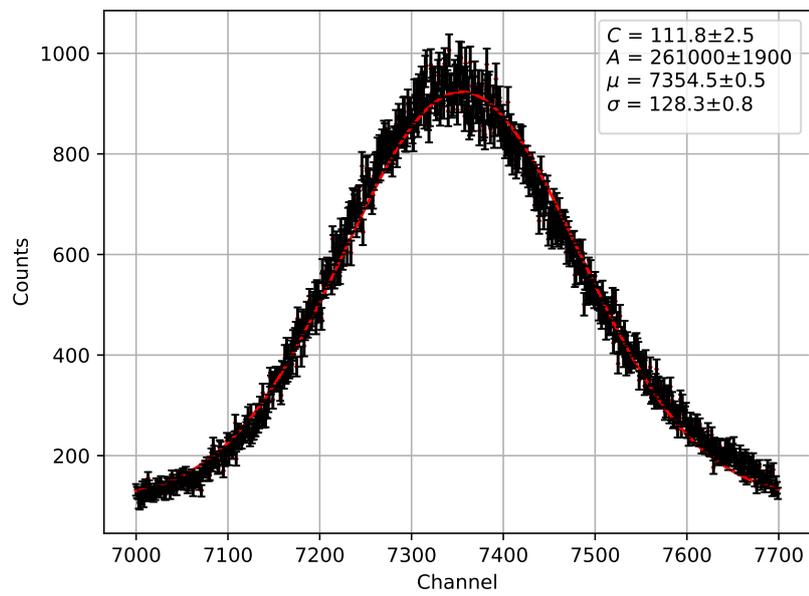


Abbildung 46: Vergrößerte Darstellung des vierzehnten Thoriumpeaks

Abbildungsverzeichnis

1	Zerfallsschema von ^{60}Co	2
2	Vereinfachtes Zerfallsschema von ^{152}Eu	3
3	Zerfallsschema von ^{22}Na	3
4	Genutzte Geräte im Versuch	4
5	Signale der beiden Verstärker	5
6	Negativer Output der beiden Timing-Units	6
7	Aufbau der Szintillatoren	7
8	Aufbau zu Versuchsteil 1	7
9	Aufbau zu Versuchsteil 2	9
10	Peak bei eingestellten Fenster	10
11	Spektrum des Plastiksintillators nach Einstellen des Verstärkers	11
12	Vergrößerung des 511 keV Na-Peaks	12
13	Untergrundspektrum	13
14	Natriumspektrum	14
15	Cobaltspektrum	14
16	Europiumspektrum	15
17	Auftrag der Channel gegen die zugehörigen Energien	16
18	Untergundpeak	17
19	Thoriumspektrum	18
20	Koinzidenzmessung	19
21	Koinzidenzmessung, falscher Aufbau	20
22	Signal des Vorverstärkers des Plastiksintillators	22
23	Vergrößerte Darstellung des ersten Cobaltpeaks	22
24	Vergrößerte Darstellung des zweiten Cobaltpeaks	23
25	Vergrößerte Darstellung des ersten Natriumpeaks	23
26	Vergrößerte Darstellung des ersten Natriumpeaks	24
27	Vergrößerte Darstellung des ersten Europiumpeaks	24
28	Vergrößerte Darstellung des zweiten Europiumpeaks	25
29	Vergrößerte Darstellung des dritten Europiumpeaks	25
30	Vergrößerte Darstellung des vierten Europiumpeaks	26
31	Vergrößerte Darstellung des fünften Europiumpeaks	26
32	Vergrößerte Darstellung des sechsten Europiumpeaks	27
33	Vergrößerte Darstellung des ersten Thoriumpeaks	27
34	Vergrößerte Darstellung des zweiten Thoriumpeaks	28
35	Vergrößerte Darstellung des dritten Thoriumpeaks	28
36	Vergrößerte Darstellung des vierten Thoriumpeaks	29
37	Vergrößerte Darstellung des fünften Thoriumpeaks	29

38	Vergrößerte Darstellung des sechsten Thoriumpeaks	30
39	Vergrößerte Darstellung des siebten Thoriumpeaks	30
40	Vergrößerte Darstellung des achten Thoriumpeaks	31
41	Vergrößerte Darstellung des neunten Thoriumpeaks	31
42	Vergrößerte Darstellung des zehnten Thoriumpeaks	32
43	Vergrößerte Darstellung des elften Thoriumpeaks	32
44	Vergrößerte Darstellung des zwölften Thoriumpeaks	33
45	Vergrößerte Darstellung des dreizehnten Thoriumpeaks	33
46	Vergrößerte Darstellung des vierzehnten Thoriumpeaks	34

Tabellenverzeichnis

1	Bestimmte Peaklagen und Energien	18
---	--	----

Literatur

[Anl] *"Versuchsanleitung Fortgeschrittenen Praktikum Teil 1, Szintillationszähler, TH. Klapdor-Kleingrothhaus"* Stand 02/2017.

[Co] *Von Inductiveload* - http://www.jimoid.com/Physics/Clinical%20Physics/co60_decay.htm, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2859326> Abrufdatum 19.10.2019

[ZU] *"Versuche zur Radioaktivität im Physikalischen Fortgeschrittenen Praktikum an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Wissenschaftliche Prüfungsabrit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien, Tobias Kotyk* Vorgelegt am: 16:05.2005

[IntCh] <https://www.internetchemie.info/chemische-elemente/kalium-isotope.php> Abrufdatum 19.10.2019

Stintiator

11.10.19

Versuchsteil 1:

Shaping time (nach Osci-Auswertung) = $3 \mu\text{s}$

Amplifier Gain (nach Lin-Ausw) = $0,5$

Coarse-Gain (- || -) = 20

Stintistrom = 657 V
(Spannung)

→ Verstärkung mit rechtem Amplifier

14.10.19

Versuchsteil 2

Plattkstrub (schlechtes Hauptverstärker)

Shaping-time = $0,5 \mu\text{s}$ (Minimum)

Amplifier-Gain = ~~200~~ 1 } möglichst viel
Coarse-Gain = 200 } Signal

Stintispannung = 1801 V

Single-Channel-A: upper \mathcal{L} = max
lower \mathcal{L} = min
INT-mode
 $1,11 \mu\text{s}$ Delay $\approx 6,1$

Timing Unit $\sim 0,1$ mit Schraube

Natriumzinti (guter Verstärker)

- gleiche Werte wie Teil 1

Single - Channel - A

upper $\lambda = 1,9$

lower $\lambda = 1,5$

Delay = 1,0

NOR - mode

.1 - 1,1 μs

Timing unit: $\sim 0,1$ mit Schraube

Coincidence - Unit: Input A, B
Output Lin - Out

Hex - Scaler: 100 s Messzeit

Zweite Messung, richtig verkabelt

Timing Unit Out: LJ (out, nicht $\overline{\text{out}}$)

Coincidence Unit: out

Grad	Count	°	Count
- 90°	48	- 90	51
- 85°	49	- 75	54
- 80°	39	- 60	57
- 75°	47	- 45	52
- 70°	35	- 30	59
- 65°	47	- 20	69
- 60°	36	- 15	55
- 55°	48	- 10	131
- 50	48	- 9	230
- 45°	58	- 8	430
- 40°	50	- 7	650
- 35°	52	- 6	882
- 30°	53	- 5	1036
- 25°	55	- 4	1226
- 20°	65	- 3	1306
- 15°	60	- 2	1282
- 10°	120	- 1	1417
- 9°	236	0	1249
- 8°	425	+ 1	1407
- 7°	614	+ 2	1264
- 6°	508	+ 3	1172
- 5°	1045	+ 4	1002
- 4°	1096	+ 5	725
- 3°	1150	+ 6	522
- 2°	1213	+ 7	310
- 1°	1189	+ 8	142
0	1193	+ 9	114
1	1183	+ 10	76
2	1087	+ 15 15	59
3	996	+ 20	50
4	913	+ 30	59
5	692	+ 45	56
10	79	+ 60	45
20	66	+ 75	37
		+ 90	43

falsch gesteckt

vernünftig gesteckt

14.10.79
1.2.79