

SOWAS-Projekt Gammaabsorption

Gruppe L: Leon Gawlytta, Arne Madry, Jannik Teuchert Projektleitung: Anna Berger
 Kontaktdaten: Leon.Gawlytta@rub.de, Arne.Madry@rub.de, Jannik.Teuchert@rub.de

1. Motivation

Im Grundpraktikumsversuch Gammaskopie (D25) wurde bereits die Absorption von Gammastrahlung in verschiedenen Materialien betrachtet. Um nun eine Aussage über die Energieabhängigkeit der Absorption treffen zu können, soll die Effektivität eines Detektors bestimmt werden. Die dadurch gewonnene Erkenntnis ermöglicht unter anderem die Bestimmung unbekannter Aktivitäten von Gamma-Quellen. Der Detektor selbst kann dabei als Absorbermaterial betrachtet werden.

2. Grundlagen

Eine Gamma-Quelle hat eine bestimmte Aktivität A_0 , welche die Anzahl der Kernzerfälle pro Sekunde angibt. Die Linienaktivität A_i für einen Übergang im Kern mit einer Übergangswahrscheinlichkeit P_i ist:

$$A_i = P_i \cdot A_0 \quad (2.1)$$

Die drei Wechselwirkungen zwischen Gammastrahlung und Materie sind der Photoeffekt, die Comptonstreuung und die Paarbildung. Dadurch wird die Strahlung teilweise absorbiert und es gilt das Absorptionsgesetz für die Strahlungsintensität $I(x)$ hinter einem Absorber der Länge x :

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-x \cdot \mu} \quad (2.2) \quad \mu = \mu_{\text{photo}} + \mu_{\text{compton}} + \mu_{\text{paar}} \quad (2.3)$$

Wir betrachten nur die Absorption durch den Photoeffekt und verwenden einen Halbleiterdetektor mit einem hochreinen Germaniumkristall. Dieser bietet eine hohe Energieauflösung (2,17 keV), welche die Energiedifferenz von zwei gerade noch unterscheidbaren Energielinien angibt. Der Detektorkristall hat eine energieabhängige Effektivität ϵ , die angibt, welcher Anteil der einfallenden Strahlung einer Energie gemessen werden kann:

$$\epsilon_{\text{Krist., } 4\pi, i} = \frac{R_i}{A_i} \cdot \frac{4\pi}{\Omega} \quad (2.4) \quad \Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + r^2}}\right) \quad (2.5)$$

R_i ist die Zählrate am Detektor und Ω ist der vom Detektor abgedeckte Raumwinkel der Gamma-Quelle. Dieser ergibt sich mit dem Kristallradius r und dem Abstand der Quelle d aus der Geometrie des Aufbaus.

Die Strahlungsintensität I , die im Kristall absorbiert wird, ist proportional zur Zählrate R des Detektors und I_0 ist proportional zur Aktivität A der Quelle. Mit dem Absorptionsgesetz folgt:

$$\epsilon_{\text{Krist., } 4\pi, i} = 1 - \frac{I(x)}{I_0} = 1 - e^{-\mu_i \cdot x} \quad (2.6)$$

3. Aufbau

Das Signal des Detektors wird mit einem Vielkanalanalysator und einem Computer ausgewertet. Aufgenommen wird das Energiespektrum, welches in 8192 Energiekanäle aufgeteilt ist:

- Messbereich: 0-3723 keV
- 0,455 keV/Kanal
- Peak-zu-Compton-Verhältnis: 77:1

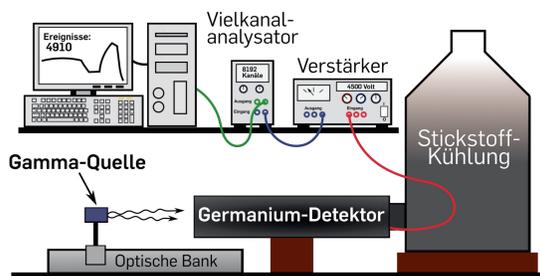


Abbildung 3.1: Versuchsaufbau

Zuerst wird eine Europium-152 Punktquelle mit gegebener Aktivität verwendet, weil diese im Energiespektrum viele Photopeaks erzeugt. Anschließend wird eine Kobalt-56 Quelle verwendet, um Photopeaks höherer Energien zu erfassen. Dafür wird die Aktivität dieser Quelle experimentell bestimmt. Die effektive Messzeit je Messung beträgt 72000s (20h). Der Abstand d zwischen Quelle und Detektor beträgt für das Europium 10,00cm und für das Kobalt 9,26cm, da dies nicht als Punktquelle angenommen werden kann. Die Abstandsänderung korrigiert die sich ergebenden unterschiedlichen Raumwinkel der Gamma-Quellen. Zusätzlich erfolgt jeweils eine Messung der Hintergrundstrahlung.

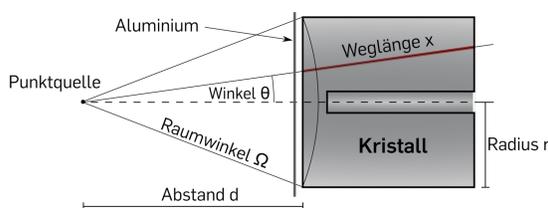


Abbildung 3.2: Kristallgeometrie

Quellen

- [1] JL Duggan. Experiments in nuclear science. AN34, laboratory manual, EG and G Ortec, 1984
- [2] Glenn F Knoll. Radiation detection and measurement. John Wiley & Sons, 2000
- [3] <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/> (8.6.2018)
- [4] ORTEC DATA SHEET GEM Series HPGe Coaxial Detector System, GEM-100240-P-ST, 13.12.01
- [5] <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients> (8.6.2018)

4. Auswertung

Von den gemessenen Energiespektren der Gamma-Quellen werden die separat gemessenen Hintergrundstrahlungen subtrahiert. Für jedes betrachtete Photopeak werden drei Kanalbereiche (Interessensbereiche, IB) bestimmt. Ein IB umfasst den Photopeak. Die restlichen beiden IB sind einmal vor und einmal hinter dem Photopeak. Durch eine Mittelung der Ereignisse in diesen zwei Bereichen wird der durch die Comptonstreuung erzeugte Comptonuntergrund abgeschätzt und vom Photopeak abgezogen. Das Ergebnis wird anschließend durch die Messzeit der Messung geteilt, um die Zählrate zu erhalten.

Aus den Gleichungen (2.1) und (2.4) folgt zur Bestimmung der Aktivität des Kobalt-56:

$$A_0 = \frac{R_i}{P_i} \cdot \frac{4\pi}{\epsilon_{\text{Krist., } 4\pi, i} \cdot \Omega} \quad (4.1)$$

Formel (2.6) wird nun verwendet, um ϵ theoretisch anhand der Literaturwerte [5] von μ zu berechnen. Da die Weglänge x mit dem Winkel θ variiert, muss über alle Weglängen mit deren Gewichtung integriert werden. $x(\theta)$ wird anhand der bekannten Kristallmaße [4] bestimmt. Es ergibt sich mit der Frontfläche F des Kristalls:

$$\epsilon_{\text{Krist., } 4\pi, i} = 1 - \int_0^{\tan(\frac{\alpha}{2})} \frac{2\pi \tan(\theta') \cdot d}{F} \cdot e^{-\mu_i x(\theta')} d\theta' \quad (4.2)$$

Dieses Integral wird für mehrere Energien mit zugehörigem μ numerisch gelöst. Abschließend werden die experimentell und theoretisch bestimmten Werte für ϵ miteinander verglichen.

5. Ergebnisse

In Abbildung 5.1 sind die Effektivitäten des Detektor-Kristalls, welche aus den Messungen beider Quellen berechnet wurden, graphisch dargestellt. Die Effektivitäten wurden auf Basis von Gleichung (2.4) für eine Abdeckung des gesamten Raumwinkels berechnet. An die Datenpunkte wurde in erster Näherung eine Exponentialfunktion (mit $\chi^2/\text{doF}=1,8$) angelegt.

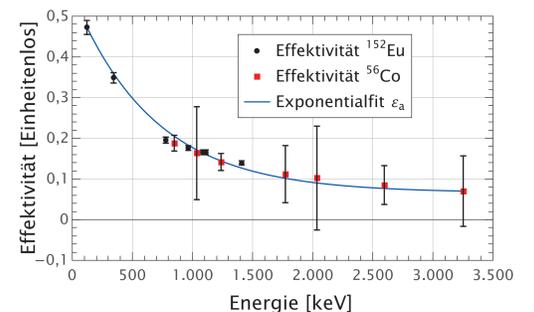


Abbildung 5.1: Effektivität Kristall für $\Omega = 4\pi$
 $\epsilon_a = 0,066(\pm 0,025) + 0,487(\pm 0,025)e^{-x/670(\pm 100)}$

Die Aktivität des Kobalt-56 ergibt sich zu $3,2 \pm 0,3$ kBq (28.05.2018). Die Größe der Fehler bei den Werten von dem Kobalt-56 ergibt sich, da die Aktivität der Quelle aus den Messungen mit Europium folgt, und daher stark fehlerbehaftet ist. Die Variation der Fehlergröße ist bedingt durch die unterschiedlichen Übergangswahrscheinlichkeiten im Kobalt-56.

Abbildung 5.2 zeigt die theoretisch berechneten Effektivitäten des Kristalls. Zusätzlich sind der Exponentialfit aus Abbildung 5.1 und der Exponentialfit der theoretischen Werte (mit $\chi^2/\text{doF}=4,7 \cdot 10^{-4}$) dargestellt. Erkennbar ist eine Verschiebung der beiden Funktionen um ca. 0,46 entlang der y-Achse.

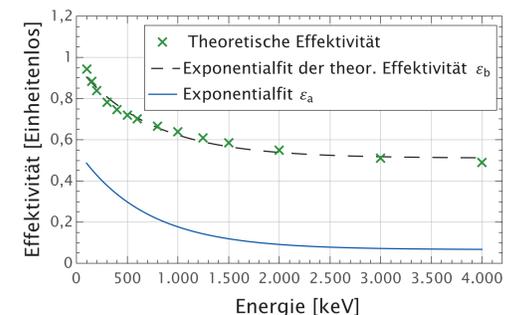


Abbildung 5.2: Vergleich zwischen Theorie und Praxis
 $\epsilon_b = 0,051(\pm 0,015) + 0,452(\pm 0,020)e^{-x/710(\pm 80)}$

6. Fazit

Der mit Formel (2.6) aus der Theorie erwartete exponentielle Abfall der Effektivität für steigende Energie der Strahlung wurde im Experiment bestätigt. Jedoch sind die theoretischen Werte fast doppelt so groß wie erwartet. Durch die Verschiebung lässt sich ein systematischer Fehler annehmen. Mögliche Ursachen dafür sind fehlerhafte Angaben zur Aktivität des Europiums und zum Detektor, sowie eine Abweichung des verwendeten Dichtewertes für Germanium. Die Unterschiede zwischen den Formen der verwendeten Gamma-Quellen und die Tatsache, dass nur der Photoeffekt betrachtet wurde, können ebenfalls eine Abweichung von Theorie und Experiment hervorrufen. Die Energieabhängigkeit der Effektivität konnte bestätigt werden. Eine Betrachtung des systematischen Fehlers durch Messungen mit weiteren Quellen gegebener Aktivität wäre eine mögliche Fortführung des Versuchs.

Danksagung

- Für die Hilfe, welche dieses Projekt erst ermöglicht hat, möchten wir uns bedanken bei:
- RUBION - Zentrale Einrichtung für Ionenstrahlen und Radionuklide insbesondere Dr. Hans-Werner Becker, Dr. Detlef Rogalla, Michael Siewert
 - Dr. Dirk Meyer
 - Klaus Ulrich, Tomasz Domanski