

Fortgeschrittenen-Praktikum – Gamma-Spektroskopie

January 3, 2015

von

Till Kolster & Lukas Schmidt

Tutor: Dr. Katayoun Gharagozloo-Hubmann

Kleiner Text

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Einleitung

Radiokativer Zerfall feststellen, Kernzerfall vs Röntgenstrahlung

1.2 Kernzerfälle

Radioaktiver Kernzerfall kann auf verschiedene Arten stattfinden, α , β , γ -Zerfall genannt. Auf sogenannten Nuklidkarten wird aufgezeichnet, welche Isotope eines Atoms mit welcher Strahlungsart zerfallen. Die Einteilung in α , β , γ -Strahlung folgt der Wechselwirkung der Strahlung mit Materie.

1.2.1 α -Zerfall

Beim α -Zerfall verringert das Atom seine Kernladungszahl um den Betrag zwei, indem es einen ionisierten Helium-4-Kern verliert. Dieser Helium-Kern wird in diesem Zusammenhang als α -Teilchen bezeichnet. Da die kinetische Energie des Teilchens charakteristisch für den α -Strahler ist, kann die Bestimmung dieser Energie dazu dienen, den Strahler zu identifizieren. Da das zurückbleibende Tochternuklid nun einen Elektronenüberschuss besitzt, werden diese an die Umgebung abgegeben [1].

1.2.2 β -Zerfall

β -Zerfall bezeichnet die Emittierung von Elektronen (β^-) und Positronen (β^+) durch einen Atomkern. Gleichzeitig emittiert der Kern ein Antineutrino oder ein Neutrino (β^+). Dabei wird ein Neutron zum Proton umgewandelt bzw. andersherum wenn es sich um den β^+ -Zerfall handelt. Die Massenzahl des Atoms bleibt bei diesem Prozess gleich, die Kernladungszahl wird jedoch um 1 vergrößert bzw. verkleinert (β^+).

Wenn ein Proton des Atomkerns ein Elektron einfängt, sich zu einem Neutron und einem Neutrino verwandelt. Dieser Prozess wird Elektroneneinfang genannt. Die Emittierung eines Positrons kann nur zusammen mit diesem Prozess stattfinden, der Elektroneneinfang kann jedoch auch unabhängig stattfinden. Die freiwerdende Energie kann komplett an das freigesetzte Neutrino abgegeben werden oder verbleibt (zum Teil) im Kern und kann als γ -Strahlung abgegeben werden. Außerdem wird das entstandene Loch in der Schale, aus der das Elektron eingefangen wurde wieder aufgefüllt. Die hierbei frei werdende Energie kann entweder in Form einer Augerelektrons oder als Röntgenstrahlung emittiert werden.

1.2.3 γ -Zerfall

Als Gammastrahlung werden Photonen mit Energien von mehr als 300keV bezeichnet, oder elektromagnetische Strahlung, die einem Kern entstammt oder deren Ursprung nicht bekannt ist. Davon abgegrenzt ist die Röntgenstrahlung, die durch Elektronenprozesse hervorgerufen wird und im Bereich von ca. 100 – 300keV liegt.

Im Gegensatz zum α - und β -Zerfall, ändert sich bei dieser Strahlungsart weder Massenzahl noch Kernladungszahl. Sie ist allein auf das Abregen eines angeregten Zustandes des Kerns zurückzuführen. Diese Relaxation folgt manchmal den beiden anderen Zerfallarten. Gamma-Strahlung kann jedoch auch auf andere Weise entstehen, beispielsweise durch die sogenannte Paarvernichtung.

1.3 Photoeffekt

1.4 Compton-Streuung

1.5 Paarvernichtung

1.6 Massenschwächungskoeffizient

1.7 Wirkungsquerschnitt

1.8 Szintillationsdetektor

Der moderne Szintillationsdetektor oder -zähler besteht aus zwei Teilen: Dem Szintillator und dem Photomultiplier. Im Szintillator werden durch ionisierende Strahlung Exzitonen erzeugt. Diese ionisieren weitere Atome im Gitter. Energiereiche Strahlung erzeugt also mehrere Elektron-Loch-Paare. Diese rekombinieren nun wieder. Findet dies an den dotierten Störstellen statt, wird Energie in Form von Lichtblitzen frei [2]. Diese können mithilfe eines Photomultipliers festgestellt werden. Das Signal ist dann proportional zur Energie der detektierten Strahlung. Damit die Lichtblitze detektiert werden können, muss das Detektormaterial für sichtbares Licht durchsichtig sein. Daher ist der Szintillator häufig als Einkristall ausgeführt. Im Experiment wird als Material ein Thallium dotierter Natrium-Iodid Kristall verwendet. Das Thallium nimmt dabei den Platz der Natrium-Positionen im kubischen Kristallgitter ein. Je nach Dotierungskonzentration ändert sich die Auflösung des Detektors.

1.9 Halbleiterdetektor

Ein Halbleiterdetektor besteht meist aus einem p-n-Übergang, bei dem ein positiv und ein negativ dotierter Halbleiter, in diesem Fall Germanium, aneinandergelagert werden. Fällt nun Strahlung in den Halbleiter ein, so erzeugt diese Elektron-Loch-Paare. Dies geschieht analog zum Szintillator durch Anregung eines einzelnen Elektrons, welches dann auf seiner Bahn durch den Halbleiter weitere Elektronen anregt. Diese können abgegriffen und der erzeugte Strom oder die Schwankung in der Spannung gemessen werden. Die Anzahl der freigesetzten Elektronen wird dabei durch die Bandlücke bestimmt, da diese Energie zum Anheben in das Leitungsband benötigt wird. Da diese Bandlücke nicht sehr groß ist, kann die Energie der Strahlung sehr gut aufgelöst werden. Um möglichst alle angeregten Elektronen abfangen zu können, wird eine Hochspannung angelegt, die die Elektronen absaugt und die Sperrschicht vergrößert. Außerdem wird der Detektor gekühlt, um eine thermische Anregung ins Leitungsband zu verhindern und um den Leckstrom gering zu halten, der bei der angelegten Hochspannung den Detektor zerstören kann [3].

Als Detektormaterial wird ein Halbleiter mit hoher Kernladungszahl verwendet, in diesem Fall Germanium, da diese einen höheren Wirkungsquerschnitt aufgrund der höheren Elektronenzahl aufweisen.

Normalerweise beträgt die statistische Schwankung von n Messwerten $\sigma_n = \sqrt{n}$. Durch die Fanoresonanz wird diese jedoch reduziert, sodass hier $\sigma_n = \sqrt{nF}$ gilt, wobei F den Fano-Faktor beschreibt. Dieser kann bei Germanium auf Werte bis zu $F \approx 0,13$ schrumpfen [4]. Diese Reduzierung des statistischen Fehlers ist darauf zurückzuführen, dass die Energieverluste in inelastischen Streuprozessen im Festkörper nicht komplett zufällig verlaufen, sondern durch die Beträge der möglichen Übergänge aus den Elektronenschalen limitiert sind.

2 Durchführung

2.1 Versuchsaufbau

2.2 Ablauf

3 Auswertung

References

- [1] Theo Mayer-Kuckuk. *Atomphysik: Eine Einführung (Teubner Studienbücher Physik) (German Edition)*. Vieweg+Teubner Verlag, 1997. ISBN 3519430428.
- [2] K. Kleinknecht. *Detektoren für Teilchenstrahlung*. Teubner Studienbücher Physik. B. G. Teubner, Stuttgart, 1984. ISBN 9783835100589.
- [3] R. Nicoletti, M. Oberladstätter, and F. König. *Messtechnik und Instrumentierung in der Nuklearmedizin: eine Einführung*. Facultas, 2007. ISBN 9783850767958.
- [4] R. C. Alig, S. Bloom, and C. W. Struck. Scattering by ionization and phonon emission in semiconductors. *Phys. Rev. B*, 22:5565–5582, Dec 1980. doi: 10.1103/PhysRevB.22.5565. URL <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.22.5565>.
- [5] FU Berlin. Ba2 - gamma-spektrometrie, 2014. URL <https://wiki.physik.fu-berlin.de/fp/>.

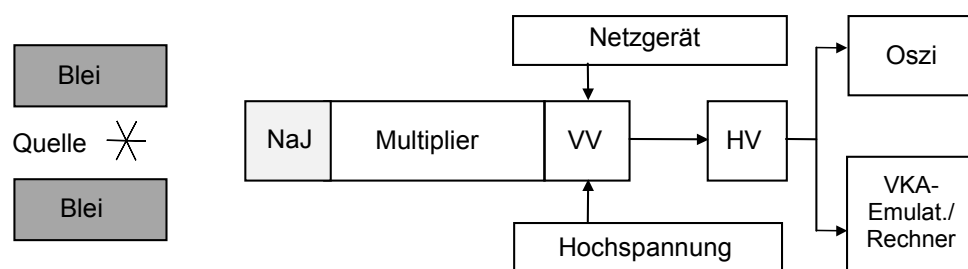


Figure 1: Schematischer Aufbau des Versuchs [5] mit NaJ-Detektor, VV-Vorverstärker, HV-Hauptverstärker, VKA-Vielkanalanalysator