

Physics Simulation with Geant4

Gruppe 51

Thomas Kraetzschmar Lorenz Schlechter
Maximilian Ziegler

10. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Introduction	1
2	Messung	1
2.1	Versuchsaufbau	1
2.2	Aktivität	1
2.3	Auswertung	2

1 Introduction

2 Messung

2.1 Versuchsaufbau

Um später die Genauigkeit der Simulation bestimmen zu können, wurde zuerst der simulierte Aufbau tatsächlich umgesetzt. Hierbei wurde eine Na-22 Quelle verwendet. Diese zerfällt in einem β^+ -Zerfall zu einem angeregten ^{22}Ne , welches durch Emission eines Photons in den Grundzustand übergeht. Dieses Photon hat eine Energie von 1275 keV. Darüber hinaus kann das bei dem β^+ -Zerfall entstandene Positron mit einem Hüllenelektron annihilieren, wobei zwei Photonen der Energie 511 keV entstehen. Diese Photonen werden mittels Caesiumiodid-Szintillationskristallen detektiert.

Die Detektoren werden dabei auf vier verschiedene Weisen platziert:

1. Die Quelle befindet sich in 3,5cm Höhe über dem Tisch, eine kleine Detektorbox befindet sich im Abstand von 3cm dazu, wobei sich der Detektorkristall 1cm tief in der Box befindet. Der Gesamtabstand beträgt damit 4cm.
2. Gleicher Aufbau nur mit einem Abstand von 5cm bzw. einem Gesamtabstand von 6 cm.
3. Die Quelle befindet sich in 3,5cm Höhe und 3cm vor der großen Detektorbox.
4. Die Quelle befindet sich in 3,5cm Höhe, auf der einen Seite befindet sich der kleine Detektor im Abstand von 5 cm, auf der anderen Seite der große Detektor im gleichen Abstand.

Die ersten beiden Messungen dauerten 7 Minuten, die Dritte 9 Minuten und die Vierte 25 Minuten.

2.2 Aktivität

Die Aktivität der Probe wurde am 1.11.2013 zu $A_0 = 213\text{kBq}$ bestimmt. Der Versuch wurde am 23.10.2014 durchgeführt, was einer Zeitdifferenz t von 357 Tagen entspricht. Die Halbwertszeit $T_{1/2}$ beträgt 2,6 Jahre. Damit beträgt die Aktivität zum Versuchszeitpunkt:

$$A = A_0 * 0,5^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 164,11\text{kBq} \quad (1)$$

2.3 Auswertung

Die Messungen liefern die Anzahl der Ereignisse pro Kanal. Physikalisch interessant ist allerdings die Energie. Da die Energie der Peaks bekannt ist kann man damit den Kanälen Energien zuordnen. Dies muss für jeden Kristall einmal durchgeführt werden. Bei der ersten Messung mit dem kleinen Kristall liegen die Peaks bei den Kanälen $4316,6 \pm 0,4$ und 10572 ± 2 . Die Peaks entsprechen den Energien 511keV und 1275keV. Damit lässt sich folgendermaßen eine Zuordnung berechnen:

$$E = m * K + t \quad (2)$$

$$m = \frac{1275keV - 511keV}{P_2 - P_1} \quad (3)$$

$$t = 511keV - P_1 * m \quad (4)$$

Wobei P_1 und P_2 die Positionen der Peaks sind. Damit ergibt sich die Zuordnung für den Kristall in der kleinen Detektorbox:

$$E = 0,12214 * K - 16,288 \quad (5)$$

Wobei K die Kanalnummer ist. Wendet man diese Zuordnung auf das Spektrum der ersten messung an ergibt sich das in 1 dargestellte Spektrum. Analog ergeben sich aus der dritten Messung für die beiden Kristalle der

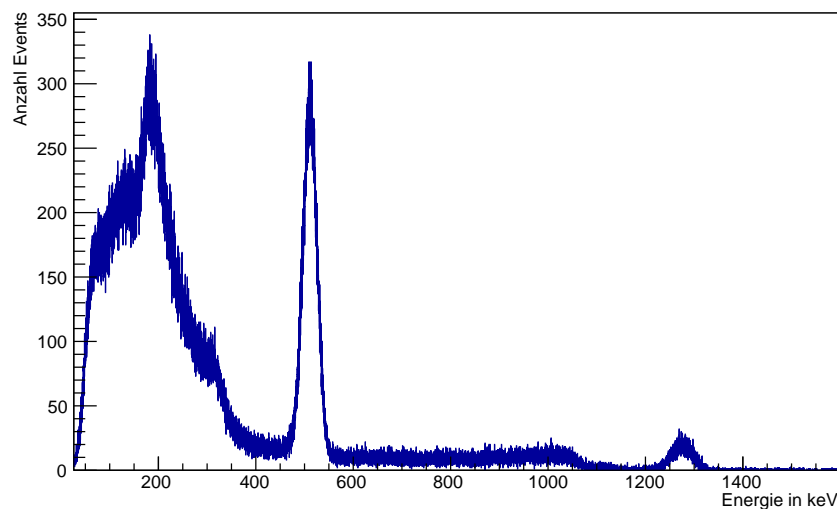


Abbildung 1: Spektrum der 1. Messung

großen Detektorbox die Zuordnungen:

$$E = 0,47307 * K - 30,65 \quad (6)$$

$$E = 0,59225 * K - 116,78 \quad (7)$$

Die damit erhaltenen Spektren befinden sich der Übersicht wegen im Anhang.

Um die Auflösung der Detektoren zu bestimmen werden die Peaks über eine Gaußkurve angenähert. Die Auflösung wird als Halbwertsbreite definiert, die bei einer Normalverteilung bei $1,35\sigma$ liegt. Damit ist die Auflösung $1,35\cdot\sigma$. Die große Detektorbox wird hierfür als ein Detektor angesehen, die Events und Varianzen der beiden Kristalle werden linear addiert, die Standardabweichung ergibt sich damit als

$$\sigma_{Gesamt} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (8)$$

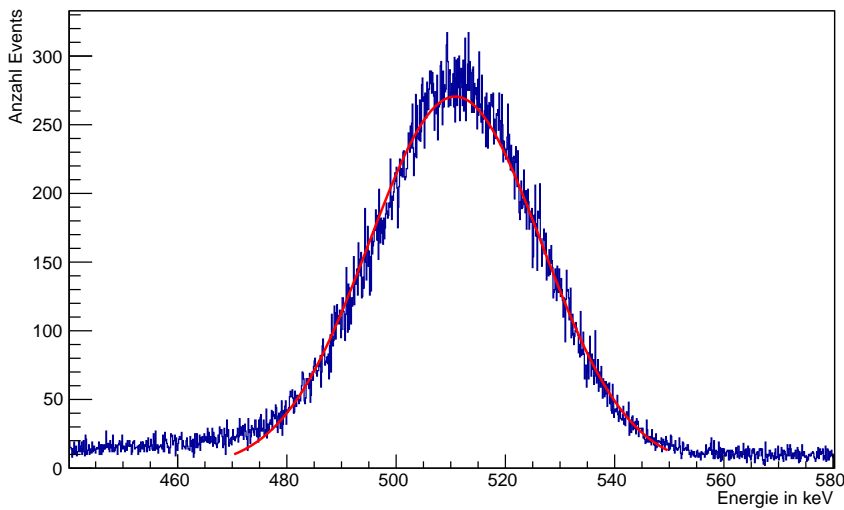


Abbildung 2: Gaußscher Fit des 511 keV Peaks der ersten Messung

Die Auflösung hängt neben dem Detektor auch von der Energie der einfallenden Strahlung ab. Abbildung 2 zeigt beispielhaft einen solchen Fit. Die Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse aller Messungen.

Die Abweichungen zwischen den ersten beiden Messungen zeigen den Messfehler, da die geometrischen Effekte bereits herausgerechnet sind sollten diese Werte übereinstimmen.

Die Effizienz setzt sich zusammen aus der geometrischen Effizienz und der Detektoreffizienz. Die geometrische Effizienz ist der Anteil des gesamten

Tabelle 1: Auflösung der Detektoren

Messung	Auflösung bei 511 keV in keV	Auflösung bei 1275 keV in keV
1	21,29	30,16
2	20,9	31,3
3	85,01	91,99

Tabelle 2: Effizienzen der Detektoren

Messung	$\eta_{\text{geometrisch}}$	$\eta_{\text{Photopeak}}$ bei 511 keV	$\eta_{\text{Photopeak}}$ bei 1275 keV
1	0,6%	10,57%	2,15%
2	0,27%	12,8%	2,43%
3	3,75%	2,74%	0,92%

Raumwinkels den der Detektor abdeckt und wird über folgenden Ausdruck genähert:

$$\eta_{\text{geometrisch}} = \frac{A}{4\pi d^2} \quad (9)$$

Die Photopeakeffizienz ergibt sich damit als

$$\eta_{\text{Photopeak}} = \frac{N_{\text{peak}}}{N_0 \cdot \eta_{\text{geometrisch}}} \quad (10)$$

Wobei N_0 die Anzahl der emittierten Photonen ist, die sich aus der Aktivität ergibt. Hierbei ist zu beachten, dass bei der Annihilierung eines Elektrons mit einem Positron 2 γ -Quanten entstehen. Der kleine Detektor besteht aus einem Kristall der Frontfläche $A = 121\text{mm}^2$. Der Wert für die Kristalldimensionen wurde aus der Simulation ausgelesen. Bei der ersten Messung betrug der Abstand zur Detektorbox 3cm, der Gesamtabstand zwischen Quelle und Detektorkristall also 4cm. Damit ergibt sich eine geometrische Effizienz von 0,602%. Zusammen mit der Aktivität von 164,11kBq, 87710 Events sowie der Messzeit von 7 Minuten ergibt sich eine Photopeakffizienz von

$$\eta_{\text{Photopeak}} = \frac{87710}{2 \cdot 7 \cdot 60 \cdot 164110 \cdot 0,0602} = 10,57\% \quad (11)$$

Analog lassen sich alle anderen Effizienzen berechnen, Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse. Erneut zeigt der Unterschied zwischen den ersten beiden Messungen die Messungenauigkeit.

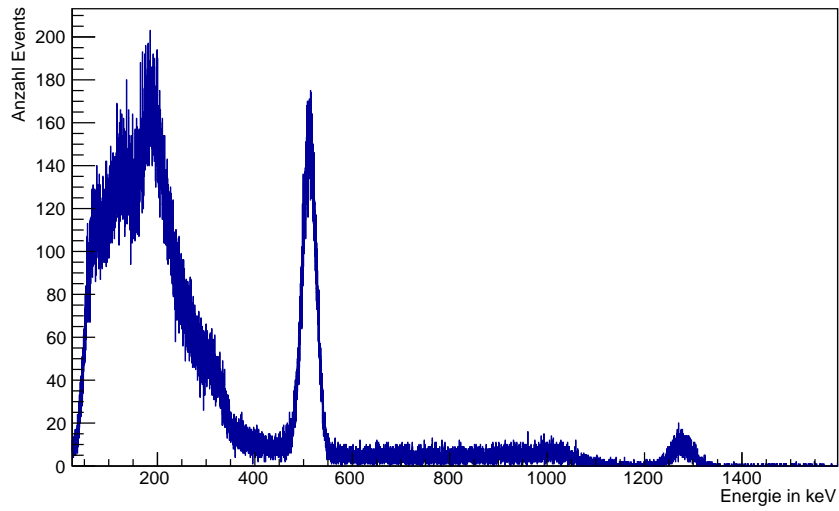


Abbildung 3: Spektrum aus Messung 2

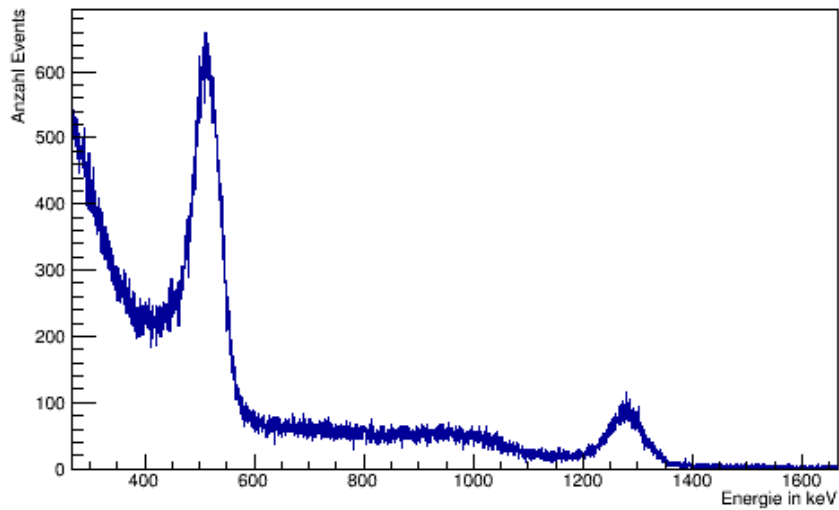


Abbildung 4: Spektrum erster Kristall aus Messung 3

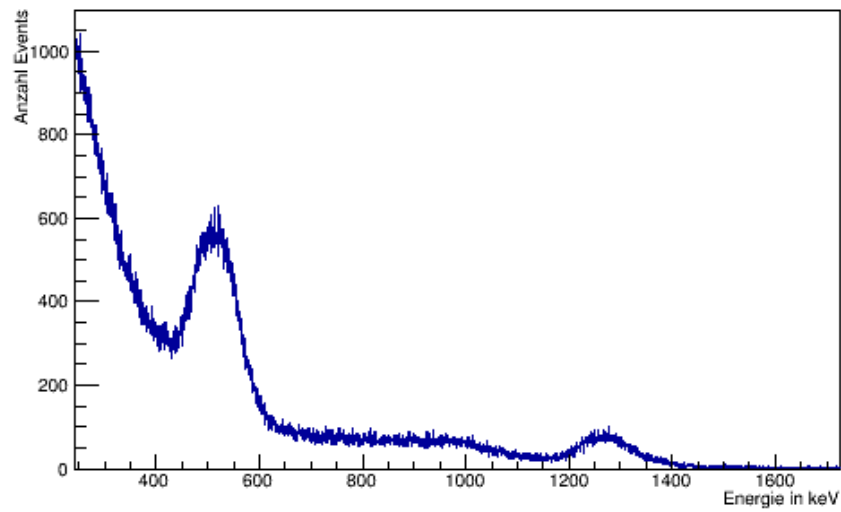


Abbildung 5: Spektrum zweiter Kristall aus Messung 3