

V14

## **Tomographie mit $\gamma$ -Strahlung**

Tahir Kamcili  
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß  
marina.andress@udo.edu

Durchführung: 11.04.2022

Abgabe: 15.04.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Tomographie . . . . .	3
2.2	Wechselwirkung von Materie mit Gamma-Strahlung . . . . .	3
2.3	Radioaktiverzerfall . . . . .	4
2.4	Abschwächung . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1	Aufbau . . . . .	5
3.2	Szintillationsdetektor . . . . .	6
3.3	Durchführung . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>7</b>
	<b>Literatur</b>	<b>7</b>

# 1 Ziel

Ziel des Versuches war es die Zusammensetzung eines 3x3x3-Würfels in einer seiner Ebene zu bestimmen, wobei die einzelnen Teilwürfel aus unterschiedlichen Metallen besteht.

## 2 Theorie

### 2.1 Tomographie

Die Tomographie ist ein Bild-gebendes Verfahren, welches viel Anwendung in der heutigen Medizin findet. Besonders die so genannte Computertomographie, kurz CT, ist weit verbreitet. Durch dieses Verfahren werden Querschnitte erzeugt und durch die Untersuchung mehrerer Schichten kann so ein 3 Dimesnionales Bild generiert werden.

Im Allgemeinen wird für die Tomographie  $\gamma$ -Strahlung benutzt. Durch die unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten und durch die Bestrahlung des Targets aus verschiedenen Winkeln kann ein Bild erzeugt werden.

### 2.2 Wechselwirkung von Materie mit Gamma-Strahlung

Die Quelle der  $\gamma$ -Strahlung ist im Versuch der Zerfall eines radioaktiven Isotops. In diesem zerfällt der Kern unter Aussendung eines  $\gamma$ -Quants in ein energetisch günstigeren Zustand. Dadurch ist das Spektrum der  $\gamma$ -Strahlung diskret.

$\gamma$ -Strahlung wechselt wirkt hauptsächlich in 3 Art und Weisen mit Materie. Diese sind der Photoeffekt, die Compton-Streuung, sowie die Paarerzeugung.

1. **Photo-Effekt:** Beim Photoeffekt wird ein Photon vollständig von einem gebundenen Elektron absorbiert so, dass dieses aus seiner Bindung herausgelöst wird. Dafür muss die Energie des  $\gamma$ -Quants ( $E_\gamma = hf$ ) mindestens die Bindungsenergie  $E_B$  des Elektrons an den Kern betragen. Die kinetische Energie des Elektrons lässt sich somit bestimmen zu

$$E_e = E_\gamma - E_B \quad (1)$$

Der Wirkungsquerschnitt  $\sigma$  ist  $\propto Z^5 E_\gamma^{-3,5}$ , daher dominiert im Allgemeinen der Photoeffekt bei Energien  $< 100\text{keV}$  und bei Kernen mit einer hohen Ladungszahl  $Z$ .

2. **Comptonstreuung:** Bei der Comptonstreuung, auch inelastische Streuung genannt, trifft ein Photon auf ein quasi-freies Elektron. Das Photon gibt dabei einen Teil seiner Energie  $\delta E$  ab, sodass die Wellenlänge um  $\delta\lambda = \lambda' - \lambda$  verändert wird. Wichtig für den Energieübertrag ist dabei der Winkel in dem das Photon auf das Elektron trifft. Der Energieübertrag wird maximal für  $180^\circ$ . Zudem werden beide Teilchen von ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt, sodass eine Streuung statt findet.

Die Comptonstreuung dominiert für Energien im Bereich von  $100\text{keV} - 1\text{MeV}$ .

3. **Paarerzeugung:** Bei der Paarerzeugung zerfällt ein Photon in einem Coulombfeld eines Teilchens in ein Teilchen-Antiteilchen Paar. Die benötigte Mindestenergie für ein  $\gamma$ -Quant ist gesetzt durch die doppelte Masse des Elektrons (da diese identisch mit der Masse des Positrons ist), da dieses Pärchen das leichteste ist, in welches es Zerfall kann. Somit ist die Mindestenergie gegeben durch

$$E_{\gamma} = 2m_e c^2. \quad (2)$$

Da in diesem Versuch lediglich Energien bis  $E_{\gamma} = 662 \text{ keV}$  erreicht werden, spielt der Effekt der Paarerzeugung keine wichtige Rolle.

### 2.3 Radioaktiverzerfall

Wie bereits oben beschrieben wird als  $\gamma$ -Strahlungsquelle ein radioaktiver Zerfall benutzt. Es kann entweder ein  $^{60}\text{Co}$  oder  $^{137}\text{Cs}$ -Strahler genutzt werden. Da im Versuch eine  $^{137}\text{Cs}$  Quelle verwendet wurde wird exemplarisch nur auf diesen Zerfall eingegangen. Im dominierenden Zerfallskanal, mit einer Zerfallswahrscheinlichkeit von 94,4%, zerfällt  $^{137}\text{Cs}$  in einen angeregten Zustand vom Barium  $^{137m}\text{Ba}$ . Welches dann unter Emission eines Photons in den Grundzustand vom Barium  $^{137}\text{Ba}$  übergeht. Bei diesem Zerfall entsteht eine mittlere Photonenenergie von  $E_{\gamma} = 661,7 \text{ keV}$  [1]. Der Zerfall ist ebenfalls in Abbildung (1) dargestellt.

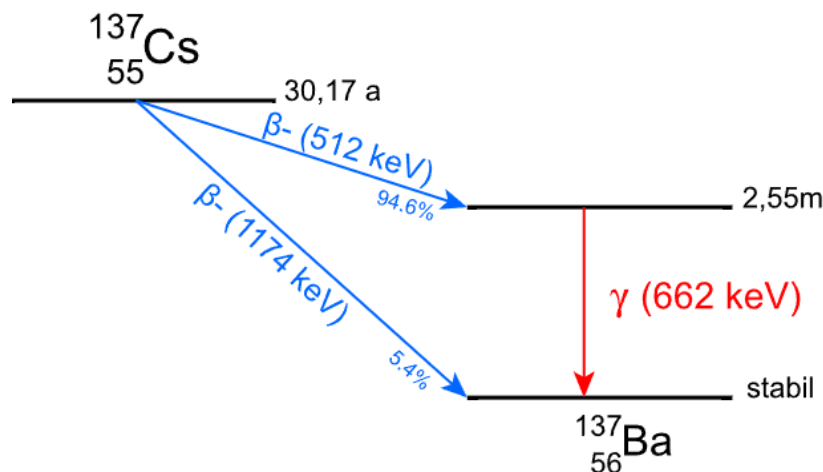


Abbildung 1: Zerfall eines  $^{137}\text{Cs}$  Atoms [1]

### 2.4 Abschwächung

Wenn Strahlung Materie durchdringt wechselwirkt sie mit dieser. Dadurch verliert sie Energie und es wird von einer Abschwächung gesprochen. Im Allgemeinen kann die Intensitätsveränderung beschrieben werden durch

$$N = I_0 \exp \left( - \sum_i \mu_i d_i \right) . \quad (3)$$

Dabei sind  $\mu_i$  die Absorptionskoeffizienten,  $I_0$  die Eingangsintensität und  $d_i$  die Länge der Strecke, in welcher die Strahlung wechselwirkt. Dies lässt sich nun umstellen zu

$$\sum_i \mu_i d_i = \log \left( \frac{I_0}{N_j} \right) = I_i . \quad (4)$$

Hierbei steht  $N_j$  für die jeweils gemessenen Ausgangsintensitäten. Aus diesem Zusammenhang kann ein LGS (kurz für Lineares Gleichungssystem) aufgestellt werden.

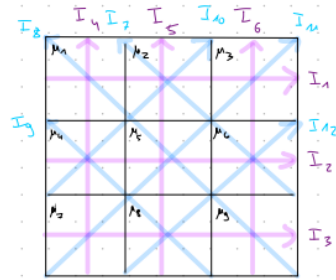
Da im Versuch ein 3x3-Würfel tomographisch untersucht wurde, kann eine Matrix A in dem Zusammenhang

$$\underline{\underline{A}} \vec{\mu} = \vec{I} \quad (5)$$

aufgestellt werden. Das LGS wird bewusst überbestimmt aufgestellt um eine hohe (Mess-)Fehleranfälligkeit zu senken, sodass die Matix (passend zu den Strahlengängen in der Abbildung 2b) aussieht wie in Abbildung 2a dargestellt ist.

The matrix A is a 3x3 grid of paths. Each path is represented by a vector of 0s and 1s. The paths are labeled with absorption coefficients  $\mu_1$  through  $\mu_9$ . The matrix is shown as a large set of parentheses containing the paths.

(a) Matrix A



(b) Schematische Darstellung der Strahlengänge durch den Würfel

## 3 Aufbau und Durchführung

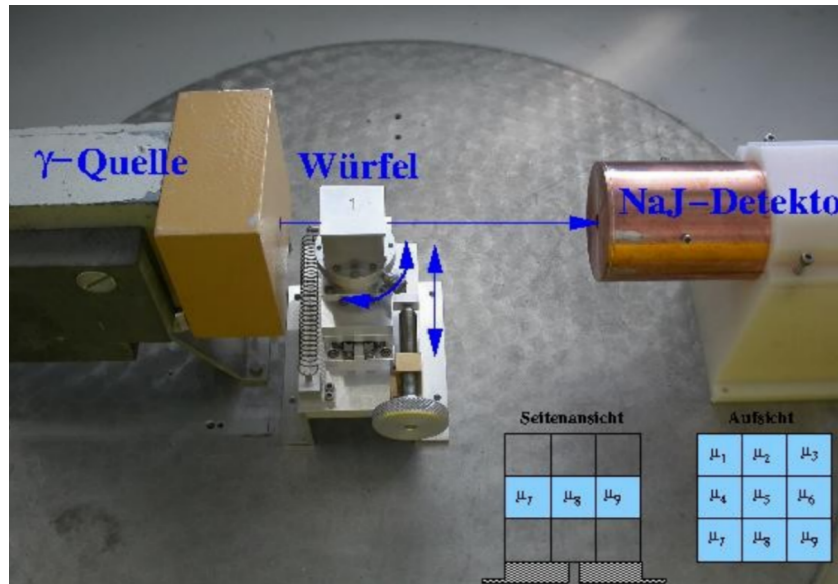
### 3.1 Aufbau

Der Aufbau des Versuches ist relativ simpel. Auf der einen Seite befindet sich die Strahlungsquelle, in unserem Fall Cs-137, welches von großes Bleiböcken abgeschirmt, sodass ein schmaler Strahlengang entsteht. Gegenüber von der Quelle sitzt ein NaJ-Detektor. Mit diesem wird die  $\gamma$ -Strahlung detektiert.

Unterhalb des Strahlengangs befindet sich eine Platte, auf welche sich Proben montieren lassen. Diese lässt sich verschieben und drehen. Im Versuch wurden auf dieser mehrere Würfel platziert. Einer war leer und wurde genutzt um eine Untergrundmessung durchzuführen und  $I_0$  zu messen, 2 waren vollständig homogen mit einem unbekannten Metall

gefüllt und 1 Würfel bestand aus kleineren Würfeln aus unterschiedlichen Stoffen, welche den großen Würfel im Format 3x3x3 füllten.

Da die Platte nicht in der Höhe verstellbar war wurde lediglich die 2. Schicht des Würfels gemessen, sodass nur eine Bestimmung von 9 kleineren Würfeln möglich war. Der Aufbau ist in der Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3:** Versuchsaufbau [7]

Als mögliche Stoffe kommen nur Aluminium, Blei, Eisen, Messing ( $Cu_{0.63}Zn_{0.37}$ ) und Delrim (POM) infrage [7].

Als zusätzliche Aufbauten, neben der  $\gamma$ -Quelle und dem Würfel, wird ein NaI-Detektor genutzt um die Ausgangsstrahlung zu messen, wie ein Multichannelanalyzer. Ein Multichannelanalyzer (kurz MCA) kann genutzt werden um elektrische Impulse mit unterschiedlichen Amplituden ihrer Häufigkeit nach zu sortieren.

### 3.2 Szintillationsdetektor

Mithilfe eines Szintillationsdetektors kann die Energie und Intensität von ionisierender Strahlung bestimmt werden. Dieser kann aus organischen, aber auch aus anorganischen Stoffen bestehen. Der im Versuchsaufbau verwendete Szintillationsdetektor nutzt einen anorganischen Natriumiodidkristall, welcher, wenn eine Energie größer als die Anregungsenergie dessen in ihn eindringt, sogenannte "Lichtblitze" erzeugt, die durch einen Bandwechsel von angeregten Elektronen entstehen. Die freigesetzten Photonen werden mithilfe eines Photomultipliers detektiert. Der Strom der in dem Photomultiplier entsteht ist proportional zu der Energie des  $\gamma$ -Quants, welches für die Erzeugung des detektierten Photons durch den Photomultiplier verantwortlich ist.

### 3.3 Durchführung

Zur Hilfe mit der Messung wird das Programm MAESTRO genutzt. Zuerst wird ein Spektrum der verwendeten Quelle genutzt. Gemessen wird solange bis mindestens am Piek 1112 Impulse gemessen wurden. Diese Zahl kommt Zustande da ein Fehler  $< 0,03$  gewünscht ist und mithilfe des Zusammenhangs

$$\frac{\sqrt{N}}{N} = 0,03 \leftrightarrow N = \frac{1}{0,03^2} \approx 1112 \quad (6)$$

kommt dieser Zustande. Das Programm zeigt dies an, sodass einfach die Messung auf ein USB Stick exportiert werden können.

Bei dem leeren Würfel, dem 2 Würfel und dem 3x3x3 Würfel wurden alle Strahlengänge nach der Abbildung 2b gemessen. Beim 3. Würfel wurden lediglich die Strahlengänge 1,2,3,10,11,12 gemessen.

Da das Programm automatisch nach 300s aufhört musste bei dem 3. Würfel der Strahlengang 11 und beim 3x3 Würfel der Strahlengang 8 und 11 2 mal gemessen und später in der Auswertung addiert werden, um die Messunsicherheiten gering zu halten.

## 4 Diskussion

### Literatur

- [1] *Abbildung für den Zerfall von Cs-137*. 2022. URL: <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-fortfuehrung/versuche/gammaspektrum-von-cs-137>.
- [2] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [3] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [5] *Literaturwert für spezifische Wärmekapazität von Wasser*. 2020. URL: [https://www.chemie.de/lexikon/Spezifische\\_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html](https://www.chemie.de/lexikon/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html) (besucht am 01.11.2020).
- [6] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [7] *Versuchsanleitung zu Versuch V14*. Fakultät Phyik, TU Dortmund. 2022.