

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	Wechselwirkung von Gamma-Strahlung mit Materie . . . . .	3
2.4	Fehlerbestimmung . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Diskussion</b>	<b>4</b>
	<b>Literatur</b>	<b>4</b>

# 1 Ziel

Ziel des Versuches war es die Zusammensetzung eines 3x3-Würfels in einer 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

$\gamma$ -Strahlung wechselt wirkt hauptsächlich in 3 Art und Weisen mit Materie. Diese sind der Photoeffekt, die Compton-Streuung, sowie die Paarerzeugung. Beim Photoeffekt wird ein Photon vollständig von einem gebundenen Elektron absorbiert, sodass dieses aus seiner Bindung herausgelöst wird. Der Wirkungsquerschnitt pro Dichte

daher dominiert im Allgemeinen bei einer Energie  $<100\text{keV}$

### 2.3 Wechselwirkung von Gamma-Strahlung mit Materie

Dieses Gesetz lässt sich gut auf  $\gamma$ -Strahlung anwenden, die in guter Näherung nur eine Wechselwirkung pro  $\gamma$ -Quant durchführt. Quelle der  $\gamma$ -Strahlung ist hierbei das Abfallen angeregter Kernzustände auf energetisch stabilere, energieärmere Zustände. Die dabei verlorene Energie wird großteils in Form eines  $\gamma$ -Quants frei. Da die möglichen Energieniveaus eines gebundenen Elektrons diskret sind, ist auch das mögliche Spektrum der  $\gamma$ -Strahlung diskret. Die möglichen Wechselwirkungen mit Materie lassen sich dabei in Annihilationsprozesse sowie elastische- und inelastische Streuung einteilen. Bei den  $\gamma$ -Energien von  $10\text{keV}$  bis  $10\text{MeV}$  die in diesem Experiment erreicht werden, treten vor allem die folgenden drei Arten von Wechselwirkungen auf:

1. **Photo-Effekt:** Beim (inneren) Photo-Effekt, einem Annihilationseffekt, schlägt das einfallende  $\gamma$ -Quant ein Elektron aus der Hülle eines Teilchens. Das  $\gamma$ -Quant wird dabei vernichtet, das Elektron erhält eine kinetische Energie, die von der Energie des einfallenden  $\gamma$ -Teilchens ( $E_\gamma = h\nu$ ) sowie der Bindungsenergie  $E_B$  des Elektrons abhängig und durch

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

gegeben ist. Die Bindungsenergie des Elektrons bietet daher eine untere Schranke für die Energien, bei denen der Photo-Effekt eintritt. Die Impulserhaltung sorgt weiter

dafür, dass der Photo-Effekt in den inneren, stärker gebunden Elektronenschalen wahrscheinlicher ist. Außerdem steigt die Wahrscheinlichkeit aus dem selben Grund für schwere Atome, da die Bindungsenergie hier stärker ist.

2. **Compton-Effekt:** Als Compton-Effekt bezeichnet man die inelastische Streuung von  $\gamma$ -Quanten an freien Elektronen. Bei hohen Energien kommen dafür auch die äußeren Hüllenelektronen in Frage. Das  $\gamma$ -Quant wird dabei nicht vernichtet, es verliert einen Teil seiner Energie und beschleunigt dabei das getroffene Elektron. Beide Teilchen bewegen sich dabei weiter, ändern ihre Richtung jedoch (sie werden "gestreut"). Dadurch nimmt die Intensität des Teilchenstrahls ab. Der dabei zu betrachtene Wirkungsquerschnitt bestimmt sich jedoch nicht nach dem weiter oben genannten Zusammenhang, sondern durch:

$$\sigma_{\text{com}} = 2\pi r_e^2 \left\{ \frac{1+\epsilon}{\epsilon^2} \left[ \frac{2(1+\epsilon)}{1+2\epsilon} - \frac{1}{\epsilon} \ln(1+2\epsilon) \right] + \frac{1}{2\epsilon} \ln(1+2\epsilon) - \frac{1+3\epsilon}{(1+2\epsilon)^2} \right\} \quad (2)$$

mit  $\epsilon = E_\gamma/m_0c^2$ . Mit kann man nun aus der Massenzahl  $z$ , der Avogadro-Konstante  $N_A$ , der Dichte  $\rho$  und der Molmasse  $M$  durch:

$$\mu_{\text{com}} = \frac{zN_A\rho}{M} \cdot \sigma_{\text{com}}(\epsilon) \quad (3)$$

den Absorptionskoeffizienten  $\mu$  bestimmen. Für  $\gamma$ -Quanten, deren Energie klein im Vergleich zur Ruheenergie des getroffenen Elektrons ist.  $\sigma$  bestimmt sich dann näherungsweise als

$$\sigma = \frac{8}{3}\pi r_e^2 \quad (4)$$

mit dem klassischen Elektronenradius  $r_e$ .

3. **Paarbildung:** Für sehr große  $\gamma$ -Energien oberhalb der doppelten Ruhemasse der Elektronen, wird das  $\gamma$ -Quant unter Bildung eines Elektron-Positron-Paares annihiliert. Der Betrag  $2m_0c^2$  ist hierbei als untere Schranke nicht ausreichend, da ein weiterer Stoßpartner notwendig ist, der einen Teil des Impulses des  $\gamma$ -Quants aufnimmt, damit der Vorgang der Impulserhaltung genügt.

Die oben genannten Effekte treten beim Durchgang eines  $\gamma$ -Strahls durch ein Absorbermaterial zusammen auf und überlagern sich daher, es kann jedoch in bestimmten Energiebereichen eine Dominanz bestimmter Effekte beobachtet werden. Der Verlauf einer solchen Kurve ist in Abbildung ?? dargestellt.

## 2.4 Fehlerbestimmung

## 3 Diskussion

## Literatur

- [1] 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/>.

- [2] 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/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] *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).
- [5] 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/>.
- [6] *Versuchsanleitung zu Versuch V14*. Fakultät Phyik, TU Dortmund. 2022.