

Compton-Effekt

Ch. Egerland^{1,*}, M. Pfeifer^{1,†}

¹Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Physik
(Versuchsdatum: 13.06.2017)

Gegenstand des Versuches ist die Untersuchung der Compton-Streuung von ¹³⁷Cs-Photonen an einem Aluminium-Streutarget. Dazu werden die Spektren von drei Gammastrahlern (¹³³Ba, ²²Na, ¹³⁷Cs), sowie das Hintergrundrauschen mithilfe eines Szintillator-basierten Messsystems aufgenommen. Damit werden Aussagen über das Auflösungsvermögen der Apparatur und den qualitativen Verlauf der Spektren getroffen und schließlich der totale Wirkungsquerschnitt für ¹³⁷Cs mit Korrekturen berechnet.

I. ZUR THEORIE DES COMPTON-EFFEKTES

Der Compton-Effekt ist ein Phänomen, welches bei der Streuung von Photonen an Teilchen beobachtet wird. Hierbei gibt das Photon einen Teil seiner Energie an das ruhende Teilchen ab, wodurch die Wellenlänge des Photons steigt und das Teilchen sich bewegt. Dieser Mechanismus ist in Abbildung 1 veranschaulicht. Die Energie des gestreuten γ -Quants ist gegeben durch:

$$E^* = \frac{E_0}{1 + \gamma(1 - \cos\theta)} \quad (1)$$

Hierbei ist θ der Streuwinkel und $\gamma = E_0/mc^2$ das Verhältnis der Energie des eintreffenden Photons zur Ruheenergie des Elektrons. Man sieht, dass dieser Effekt sich erst für hohe Photonenergien (also $\gamma \gg 1$) bemerkbar macht.

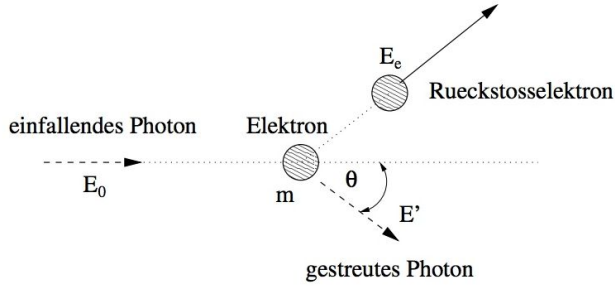


Abbildung 1: Kinematik des Compton-Effekts aus [1].

Der korrekte differentielle Wirkungsquerschnitt, der die Winkelverteilung des Compton-Effektes beschreibt, ist durch die Klein-Nishina-Formel gegeben:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left(\frac{E^*}{E_0} \right)^2 \left(\frac{E_0}{E^*} + \frac{E^*}{E_0} - \sin^2\theta \right) \quad (2)$$

Aus dieser Formel folgt, dass es eine Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrie gibt, d.h. es werden mehr Photonen in die Vorwärtsrichtung, als in die Rückwärtsrichtung gestreut.

II. EXPERIMENT

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3 gezeigt. Die Photonen treten aus der Strahlungsquelle (Daten in Tabelle I) in den Kollimator welcher dafür sorgt, dass die Photonen aus nahezu 0 Grad kommen. Das Aluminium-Streutarget ist herausnehmbar.

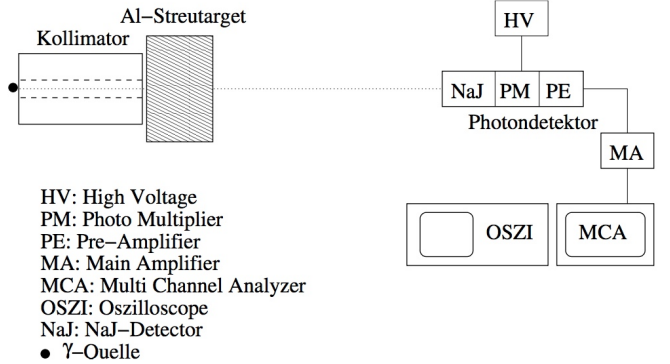


Abbildung 2: Versuchsaufbau aus [1].

Die Photonen treffen auf den Detektor, der in unserem Fall aus einem mit Thallium dotierten NaJ-Szintillator besteht. Ein eintreffendes Photon erzeugt im NaJ-Kristall ein Elektron-Loch-Paar welches sich zum Aktivatorzentrum (Thallium) bewegt und dieses anregt. Durch Emission von Licht kehrt das Thallium nun wieder in seinen Grundzustand zurück. Die aus dem Detektor gelösten Photonen werden nun im Photomultiplier verstärkt. Hierbei trifft ein Photon auf den Photomultiplier und löst durch den Photoeffekt ein Elektron, welches im weiteren Verlauf weitere Elektronen aus den Dynoden heraus schlägt (die sogenannten Sekundärelektronen). Somit entsteht eine Spannung, welche wir als proportional zur Energie der am Szintillator eintreffenden Photonen betrachten können. Diese Spannung wird durch zwei OP Amplifier verstärkt und gelangt nun in den Multi

* Email: egerlanc@physik.hu-berlin.de

† Email: max.pfeifer@physik.hu-berlin.de

Präparat	γ -Energie in MeV	Aktivität (kBq)	Halbwertszeit
^{133}Ba	0.356	397	10.54a
^{22}Na	0.511	374	2.603a
^{137}Cs	0.662	371	30.17a

Tabelle I: Daten der Photonenquellen ermittelt am 01.11.1996 mit einem Fehler von 4%.

Channel Analyzer, welcher dafür sorgt, dass die eintreffenden Impulse mit verschiedener Amplitude entsprechend diese einem Kanal zugeordnet werden. Diese Kanäle können wir am PC auslesen und in einem Histogramm darstellen, wir sehen also ein Diagramm, dass uns die Counts in den jeweiligen Kanälen zeigt. Daraus lässt sich mithilfe einer Kalibrationskurve, die den Kanälen eine Energie zuordnet, das Energiespektrum bestimmen.

Zunächst ist es aus gesundheitlichen Erwägungen erforderlich, die Äquivalentdosis zu bestimmen, der man während des Versuches ausgesetzt ist. Hierfür wird eine Experimentierdauer von 12 Stunden und eine vollständige Absorption der Probenstrahlung angenommen. Die Äquivalentdosis H ist im Falle von Photonen gleich der Dosis D [2]. Die Dosisleistung ist definiert als

$$\dot{D} = \frac{E_\gamma \cdot A}{m} \quad (3)$$

mit der bestrahlten Masse m , der Aktivität A der Photonenquelle und der Photonenenergie E_γ , wobei die Aktivität ein zeitlich exponentiell abfallendes Verhalten zeigt:

$$A(t) = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{t_{1/2}} \cdot \ln(2)\right) \quad (4)$$

Dabei bezeichnet A_0 die Aktivität der Quelle am 01.11.1996 (s. Tabelle 1). Durch Integration der Dosisleistungen über die Zeit und Aufsummieren der Dosisbeiträge der drei Proben gelangt man unter Annahme

einer bestrahlten Masse von $m \approx 75\text{kg}$ zu einer maximalen Äquivalentdosis von $17,5 \mu\text{Sv}$ (s. Anhang A1-A2). Das entspricht einem Zuwachs der durchschnittlichen jährlichen Strahlungsbelastung ($\approx 2,1 \text{ mSv}$ [3]) um 0,8%.

Da das Signal des Szintillators einen Vor- und Hauptverstärker durchläuft, ist die Messung einer Totzeit unterworfen. Das Messprogramm (MAESTRO) quantifiziert diese Totzeit bereits und liefert Werte in der Größenordnung von $3 \mu\text{s}$ bis $17 \mu\text{s}$. Eine grafische, softwareunabhängige Abschätzung mit dem Oszilloskop ergibt ähnliche Totzeiten in der Größenordnung von $8 \mu\text{s}$. Die Zeit, die der Detektor zur Messung eines Ereignisses benötigt, beträgt mit 6 ms drei Größenordnungen mehr als die Totzeit, womit diese vernachlässigt werden kann.

III. DATEN UND ANALYSE

Die ohne Streutarget aufgenommen Spektren der Gammastrahler sind in ?? dargestellt. Da das Messprogramm die Ereignisse verschiedenen Kanälen (2048 Kanäle) zuordnet, werden diese mithilfe einer Kalibrationskurve $K(E)$ in Energien umgesetzt. Dazu wurden die charakteristischen Peaks der Spektren mit MATLAB einem Gauß-Fit unterzogen, der die genauen Peakpositionen einschließlich deren Unsicherheit liefert.

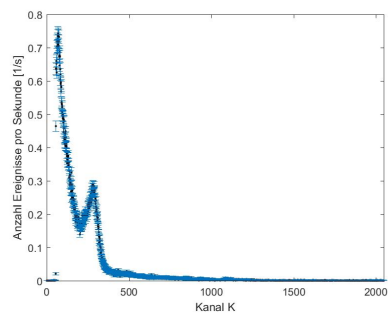
IV. SCHLUSSFOLGERUNG

Schlussfolgerung, sollten wir mal was von nem Buch oder so entnehmen nutzen wir:

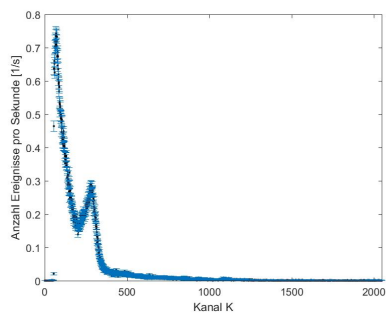
Ein Zitat mit Referenz auf das Buch[?]

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam id facilisis ligula, a ultrices nibh. Nullam suscipit tellus nec mauris fermentum, ornare luctus neque tincidunt. Aenean commodo tincidunt varius. Phasellus faucibus metus non erat consectetur bibendum. Duis et luctus risus, at egestas justo. Nunc eleifend lacus ac laoreet scelerisque. Aenean cursus dignissim magna in ultrices. In eget nisl quis nisi.

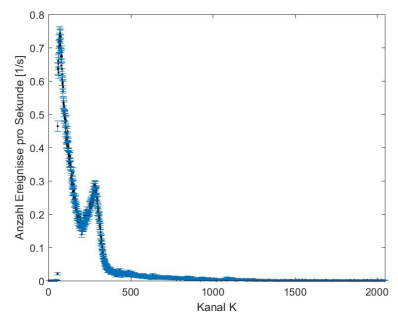
-
- [1] O.Epler, U. Schwanke, Compton-Effekt (Versuchsskript), [2007]
 - [2] H.Krieger, Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes (S. 323), Springer Verlag, 4. Auflage [2004]
 - [3] Bundesamt für Strahlenschutz, "Wie hoch ist die natürliche Strahlenbelastung in Deutschland?" (unter http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlenbelastung/natuerliche-strahlenbelastung_node.html)



(a) Bezeichnung der linken Grafik



(b) Bezeichnung der linken Grafik



(c) Bezeichnung der linken Grafik

Anhang A: Sonstiges

$$D = \sum_{i=1}^3 \int_{t_1}^{t_2} \dot{D}_i(t) dt = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{E_{\gamma,i}} \int_{t_1}^{t_2} A_i(t) dt \quad (\text{A1})$$

mit $t_1 = 20,263a$ und $t_2 = 20,263a + 12h$

$$\begin{aligned} D_i &= \frac{E_{\gamma,i}}{m} \int_{t_1}^{t_2} A_i(t) dt \\ &= \frac{E_{\gamma,i} \cdot A_{0,i}}{m} \int_{t_1}^{t_2} \exp\left(-\frac{t}{t_{1/2}} \cdot \ln(2)\right) dt \end{aligned} \quad (\text{A2})$$

$$\Rightarrow D_{Ba} = 3.36 \mu\text{Sv}, D_{Na} = 0.07 \mu\text{Sv}, D_{Cs} = 14.11 \mu\text{Sv}$$

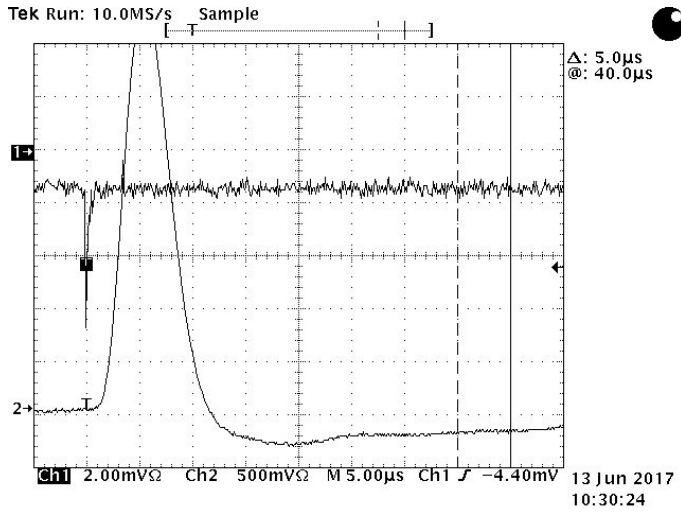


Abbildung 3: Vor- und Hauptverstärkersignal
Oszilloskop

Hier sehen wir einen Beispiel Anhang und so könnte man Code in Latex einbinden:

```
> mkdir ~/8.13
> mkdir ~/8.13/papers
> mkdir ~/8.13/papers/template
> cd ~/8.13/papers/template
```