

## A4: Compton-Effekt

### 1. Zusammenfassung

Der Compton-Effekt und seine Auswertung gehören zu den grundlegenden Experimenten der Physik. Im Versuch soll die Gültigkeit der Compton-Formel nachgewiesen werden. Hierbei werden grundlegende Meßmethoden der Kernphysik ( $\gamma$ -Nachweis, Koinzidenzmethode) angewandt. Es soll auch mit typischen Kernelektronik-Schaltungen vertraut gemacht werden, deren Fortentwicklungen z.B. in moderner zeitaufgelöster Spektroskopie eingesetzt werden.

### 2. Vorbereitung

#### 2.1 Theoretische Grundlagen [1, 2]

Inelastische Wechselwirkung von  $\gamma$ -Strahlung mit Materie kann durch **Photoeffekt\***, **Compton-Effekt\*** und **Paarbildung\*** erfolgen, deren Wirkungsquerschnitte jeweils unterschiedliche **Abhängigkeit von Energie und Ordnungszahl\*** aufweisen (s. Anleitung zum Versuch A2-Gammaspektroskopie).

Der Energieverlust durch Compton-Effekt kann als Streuung eines Photons an einem freien Elektron beschrieben werden, wobei Energie- und Impulserhaltung in elementarer Weise direkt zur **Compton-Formel in Energie- und Wellenlängenschreibweise\*** führen. Die Einführung der **Compton-Wellenlänge\*** erlaubt eine schnelle Abschätzung über die maximalen Energieverluste. Die Intensität der Compton-Streuung wird durch die **Klein-Nishina-Formel** beschrieben, aus der sich die **Energie- und Winkelverteilungen** für die gestreuten  $\gamma$ -Quanten ergeben.

#### 2.2 Funktionsweise der benutzten Geräte

Die Energie der  $\gamma$ -Quanten bzw. der Compton-Elektronen wird mit einem geeichten **Szintillationszähler\*** gemessen. Im Spektrum sind Anteile von Photo- und Compton-Effekt sowie u. U. Paarerzeugung sichtbar, besonders auffällig ist die **Compton-Kante\***.

Durch **Koinzidenzmessung\*** des gestreuten  $\gamma$ -Quants und des Compton-Elektrons kann die Compton-Streuung in einen bestimmten Raumwinkel herausgefiltert werden.

Machen Sie sich mit der Schaltung einer **Koinzidenzstufe\*** [3], der Funktionsweise eines **Vielkanalanalysators** im **ADC-Modus** und den übrigen in der Geräteliste genannten Apparaten vertraut (s. FB-Bibliothek). Wichtig ist hierbei zunächst das grundsätzliche Verständnis des Versuchsaufbaus, die Details ergeben sich beim Experimentieren.

#### 2.3 Mess- und Auswerteverfahren

Die gestreuten  $\gamma$ -Quanten und die Compton-Elektronen werden mit zwei Szintillationszählern in Koinzidenzschaltung gemessen, wobei der Elektronenzähler gleichzeitig als Streuer dient. Die Zuordnung der Kanäle des Vielkanalanalysators zu Energiewerten erfolgt über Messungen mit Eichpräparaten bekannter Energie. Die entsprechenden  **$\beta^+$**  bzw.  **$\beta^-$  Zerfälle\* von  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , und  $^{241}\text{Am}$**  sind z. B. in /Koh86/ angegeben.

Es empfiehlt sich, besonders das  $\gamma$ -Spektrum von  $^{22}\text{Na}$  zu studieren (woher kommen die einzelnen Linien? Weshalb können die 511 keV Quanten zur Koinzidenzeinstellung verwendet werden?).

---

\* Die mit \* gekennzeichneten Themenkreise müssen zu Versuchsbeginn beherrscht werden, die **fett** gedruckten sollten Sie bei der Nachbesprechung diskutieren können.

## 2.4 Strahlenschutz

Machen Sie sich mit den **Größen\***, **Einheiten\*** und **Maßnahmen** des Strahlenschutzes vertraut. Zur Erinnerung: Dieser Versuch ist nicht für schwangere Frauen zulässig.

### 3. Aufgaben

- a) Eichung beider Szintillationszähler mit den Eichpräparaten  $^{241}\text{Am}$  und  $^{137}\text{Cs}$  (je ein Eichpunkt),  $^{22}\text{Na}$  und  $^{60}\text{Co}$  (je 2 Eichpunkte). Zeichnen Sie eine Ausgleichsgerade.
- b) Ausmessung der Compton-Kanten für beide  $^{22}\text{Na}$ -Linien bei einem der Szintillationszähler (welcher Zähler ist hierfür günstiger?); Vergleich mit den theoretischen Werten. Diskutieren Sie die relative Intensität von Photopeak und Compton-Kontinuum, und weshalb diese für beide Detektoren unterschiedlich ist.
- c) Einstellen der Koinzidenz mit dem  $^{22}\text{Na}$ -Eichpräparat. Verifizieren sie die räumliche Korrelation der  $\gamma$ -Quanten (welche der beiden  $\gamma$ -Linien?). Wie kann man zwischen wahren und zufälligen Koinzidenzen unterscheiden? Machen Sie diese Messung mit der Einstellung "Lower level" der Amplitudenfenster (SCA) auf 0 und 0.2 V. Schlussfolgerung?
- d) Messung in der Compton-Geometrie mit einer  $\approx 0,2 \text{ mC}$   $^{22}\text{Na}$ -Quelle (vom Betreuer einzusetzen!), zunächst ohne Koinzidenz. Wo erwarten Sie die Compton-Ereignisse für die beiden Detektoren bei  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $120^\circ$ ?
- e) Bestimmung der Energie der gestreuten  $\gamma$ -Quanten und der Compton-Elektronen für die Streuwinkel  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $120^\circ$  für die 511 keV und die 1274 keV Strahlung einer  $\approx 0,2 \text{ mC}$   $^{22}\text{Na}$ -Quelle und Überprüfung der Compton-Formel (Energie- und Impulssatz). Skizzieren Sie hierzu die Herleitung der Compton-Formel.
- f) Wie hängt das Verhältnis der zufälligen zu den wahren Koinzidenzen von der Aktivität  $A$  der Quelle (Zerfälle pro sec) und der Koinzidenzauflösezeit  $\tau$  ab?

## 4. Versuchsaufbau

### 4.1 Skizze

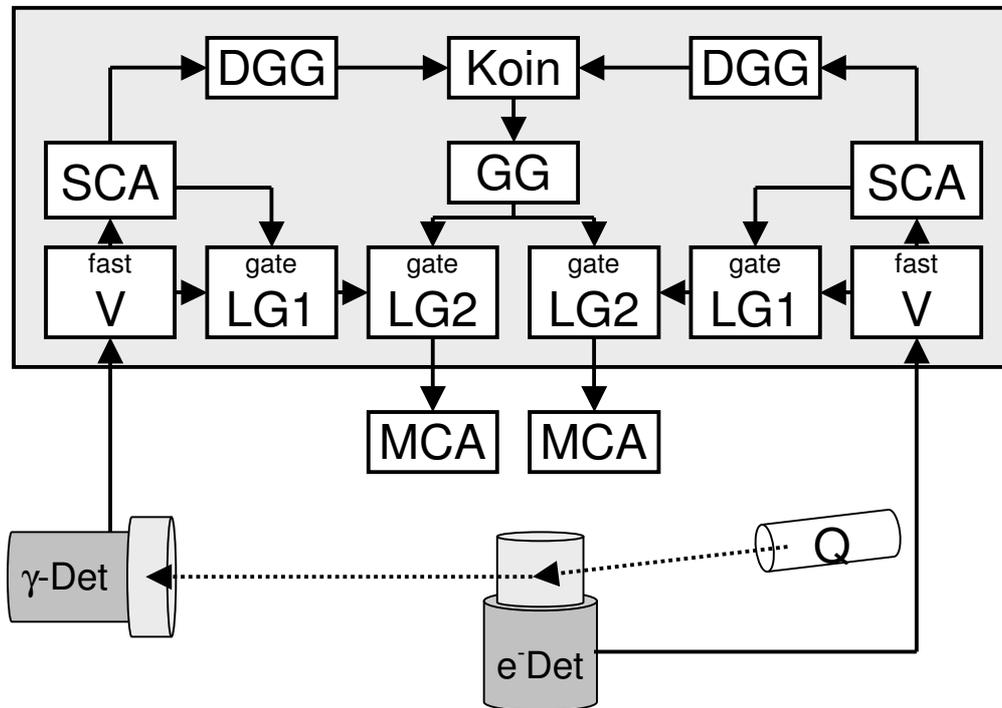


Abb. 1: Im oberen Teil des Bildes ist das Blockschaltbild dargestellt (Erläuterung der Kürzel siehe Geräte-  
liste). Beachten Sie, dass das eigentliche Detektorsignal vom Verstärker V über die linearen Gates LG an  
den MCA nur „durchgereicht“ wird, je nachdem ob die Steuereingänge („gate“) der LGs freigeschaltet  
sind oder nicht. Die Detektion der Koinzidenz und das Abblocken zufälliger Koinzidenzen geschieht  
durch die übrigen Komponenten.

Im unteren Teil des Bildes ist die Streugeometrie für Aufgaben d-e dargestellt. Für Aufgaben a-c werden  
die Eichpräparate zwischen den beiden Detektoren platziert. Können Sie sich einen Reim auf die unter-  
schiedliche Form der ansonsten identischen Szintillationsdetektoren machen?

### 4.2 Geräteliste

	Gerät	Bemerkung zur Funktion
<b>Q</b>	$^{22}\text{Na}$ -Quelle	
<b>Det</b>	NaI-Szintillationszähler	inkl. Photomultiplier
<b>V</b>	Verstärker	mit direktem und verzögertem Ausgang
<b>SCA</b>	Single Channel Analyzer	Amplitudenfenster
<b>DGG</b>	Delay-Gate Generator	Pulsformung und -verzögerung
<b>Koin</b>	Koinzidenzstufe	
<b>GG</b>	Gate Generator	Pulsverlängerung
<b>LG</b>	Lineares Gate	1:1 Verstärker mit Steuereingang („gate“)
<b>MCA</b>	Multi Channel Analyzer	

### 4.3 Hinweis auf bestimmte Verfahren

- (a) Die Verstärker beider Szintillationsverstärker müssen so eingestellt werden, dass die energiereichste Eichlinie noch gut ausgemessen werden kann, die Linienpositionen

- (z. B. der 511 keV  $^{22}\text{Na}$ -Linie) sollten etwa gleich sein. Wegen Abweichungen in der Eichcharakteristik (woher kommen diese?) müssen beide Zähler geeicht werden.
- (c) Die Einstellung der Koinzidenz mit den koinzidenten 511 keV  $\gamma$ -Quanten von  $^{22}\text{Na}$  erfolgt an den Delays der DGG's auf Gleichzeitigkeit der DGG-Impulse (Vergleich mit dem Oszilloskop).
  - (d) Die Koinzidenzstufe kann am LG2 aus- und eingeschaltet werden („normal/gated“ bzw. „anti-/coincidence“), so dass sowohl die Eichmessungen als auch die Koinzidenzmessungen ohne Veränderung der Verkabelung durchgeführt werden können. Die beiden LG1 dienen zum Abblocken **zufälliger Koinzidenzen**. Wegen der hohen Quellstärke muss auf gute Abschirmung der Detektoren, aber auch des gesamten Aufbaus geachtet werden. Benutzen Sie hierzu ausgiebig den Geiger-Müller Zähler!
  - (e) Bei einer bestimmten Winkelstellung (welcher, gemäß Compton-Formel?) rücken die Energien der gestreuten  $\gamma$ -Quanten der 511 keV und der 1274 keV Strahlung relativ dicht zusammen. Messen Sie deshalb die schwächere  $\gamma$ -Linie bei diesem Winkel nochmals alleine aus. Dies können Sie erreichen, indem Sie durch passende Einstellung des SCA der Compton-Elektronen die stärkere Linie ausblenden.

## 5. Hinweise zur Auswertung und Diskussion

Sowohl bei der Eichung als auch bei den Koinzidenzmessungen können Fehler auftreten, die systematische Abweichungen der experimentellen Werte von den theoretisch erwarteten zur Folge haben. Diskutieren Sie die möglichen Ursachen.

Eine wesentliche Rolle zur Fehlerdiskussion spielt die **Größe der beiden Detektoren** (auszumessen!): Wie wird der Compton-Winkel  $\vartheta$  bei diesem Versuch definiert? Berechnen Sie mit der Compton-Formel den Fehler der Energie  $\Delta E$  als Funktion von  $\Delta\vartheta$ . Wie groß ist  $\Delta\vartheta$  in diesem Versuchsaufbau? Ist  $\Delta\vartheta$  von  $\vartheta$  abhängig?

## 6. Literatur

- [1] Marmier, Kernphysik I, 11. Aufl. 1985
- [2] E.W. Schpolski, Atomphysik I, 13. Aufl. 1975
- [3] P. Stoll, Experimentelle Methoden der Kernphysik, Springer 1966
- [4] F. Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. 3, 23. Aufl. 1986, Nr. 148 u. 165

Aktuelle Literatur zum Fortgeschrittenpraktikum findet sich in der Fachbereichsbibliothek.