



FACHBEREICH MATHEMATIK UND NATURWISSENSCHAFTEN  
FACHGRUPPE PHYSIK  
BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

## **Messung des differentiellen Wirkungsquerschnitts von COMPTON-Streuung**

**FP I-8**

**Versuch des Fortgeschrittenenpraktikums  
für Physiker**

Dieser Versuch soll einerseits mit der Technik des Streuexperiments, dem Umgang mit  $\gamma$ -Strahlen, sowie mit deren Nachweis vertraut machen. Andererseits sollen anhand der Messergebnisse zu Kinematik und differentiellen Wirkungsquerschnitt des Compton-Effekts die zur Erklärung notwendigen physikalischen Vorstellungen vertieft werden. Das Ziel des Experiments ist, den differentiellen Wirkungsquerschnitt der Compton-Streuung für verschiedene Streuwinkel auf ca. 10 % genau zu messen.

## Literatur

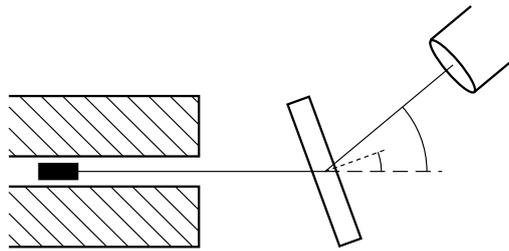
- [1] A. C. Melissinos, *Experiments in Modern Physics*
- [2] R. D. Evans, *The Atomic Nucleons*
- [3] P. Marmier, *Kernphysik I*
- [4] P. Marmier & E. Sheldon, *Physics of Nuclei and Particles*
- [5] G.G. Eichholz + J.W. Poston, *Principles of Nuclear Radiation Detection*
- [6] J.D. Bjorken + S.D. Drell, *Relativistische Quantenmechanik*
- [7] D.C. Allkofer, *Teilchendetektoren*
- [8] H. Enge, *Introduction to Nuclear Physics*

(Diese Literaturangaben stehen nur als Beispiele für eine große Anzahl an Standardwerken der Atom- und Kernphysik)

## Vorbereitung

- Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit Materie  
speziell auch:
  - Begriff des differentiellen Wirkungsquerschnittes
  - Thomson-Streuung
  - Kinematik der Compton-Streuung
  - Klein-Nishina-Formel
- Zählerstatistik und Fehlerrechnung  
speziell auch:
  - Methode der kleinsten Quadrate
- Szintillations-Detektorsysteme  
speziell auch:
  - Eigenschaften und Benutzung eines NaJ-Zählers
  - Photomultiplier
  - Totzeit eines Detektors
- Biologische Wirkung von  $\gamma$ -Strahlen  
speziell auch:
  - zulässige Dosen
  - Vorsichtsmaßnahmen (Abschirmung, Abstand)

**Hinweis: Bringen Sie einen USB-Stick zum Speichern der Daten mit!**



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau zur Messung des differentiellen Wirkungsquerschnitts. Die Aluminiumplatte sollte stets auf einen Winkel eingestellt werden, der halb so groß wie der Winkel zwischen Detektor und Primärstrahl ist.

## 1 Versuchsbeschreibung

**Abbildung 1** zeigt den schematischen Versuchsaufbau. Er besteht aus einer schwenkbar gelagerten optischen Bank, auf der ein Detektor bestehend aus Natriumioditkristall und Photomultiplier montiert ist. Auf der Drehachse kann eine Aluminiumplatte als Streuziel angebracht werden. Gegenüber der optischen Bank befindet sich eine Bleiburg, in die ein starkes Cs-Präparat<sup>1</sup> eingesetzt werden kann. Das Präparat ist zunächst nicht eingebaut.

**Abbildung 2** zeigt das Auslesesystem des Versuchs. Es enthält ein Hochspannungsnetzteil mit Voltmeter zur Versorgung des Photomultipliers und einen Verstärker, an dem über einen Drehschalter ein Verstärkungsfaktor von 10; 20; 50; 100; 200 oder 500 sowie über einen Drehregler ein zusätzlicher, stufenloser Faktor von 0,5 bis 1,5 eingestellt werden kann. Die Digitalisierung der Signale geschieht in einem nachgeschalteten ADC<sup>2</sup>. Über zwei Stellschrauben LLD<sup>3</sup> und ULD<sup>4</sup> lässt sich ein Amplitudenbereich einstellen, innerhalb dessen Signale digitalisiert werden. Signale mit niedrigerer oder höherer Amplitude werden vom ADC ignoriert.

Die Auslese des ADCs erfolgt mittels eines MCAs<sup>5</sup>, der seine Betriebsspannung über eine Netzwerkschnittstelle<sup>6</sup> erhält, die gleichzeitig als Interface zu einem PC dient.

## 2 Datennahme

Die Verarbeitung der Daten geschieht mit dem Programm WinTMCA. Um WinTMCA mit dem MCA zu verbinden, wird im Menü *Spektrum* → *TCP-Spektrenauswahl...* die auf dem MCA vermerkte IP-Adresse eingegeben.

Um eine Messung mit festgelegter Messzeit unter Berücksichtigung der Totzeit des System durchzuführen, kann über  eine *Livetime* in Sekunden eingestellt werden. WinTMCA wird jede Messung automatisch nach Ablauf dieser Zeit stoppen.

Das Dateiformat (\*.SPC) von WinTMCA ist nur schlecht für die weitere Datenverarbeitung geeignet. Auf dem Desktop befindet sich ein Python<sup>7</sup>-Script `convert.py`, das in den Ordner mit den aufgenommenen Spektren kopiert und ausgeführt werden kann. Es erzeugt zu jeder \*.SPC-Datei eine \*.csv-

<sup>1</sup>Aktivität 1.1.1976: 30 mCi

<sup>2</sup>Analog Digital Converter

<sup>3</sup>Lower Level Discriminator

<sup>4</sup>Upper Level Discriminator

<sup>5</sup>MultiChannelAnalyser

<sup>6</sup>Power over Ethernet

<sup>7</sup>[www.python.org](http://www.python.org), Version 2.6

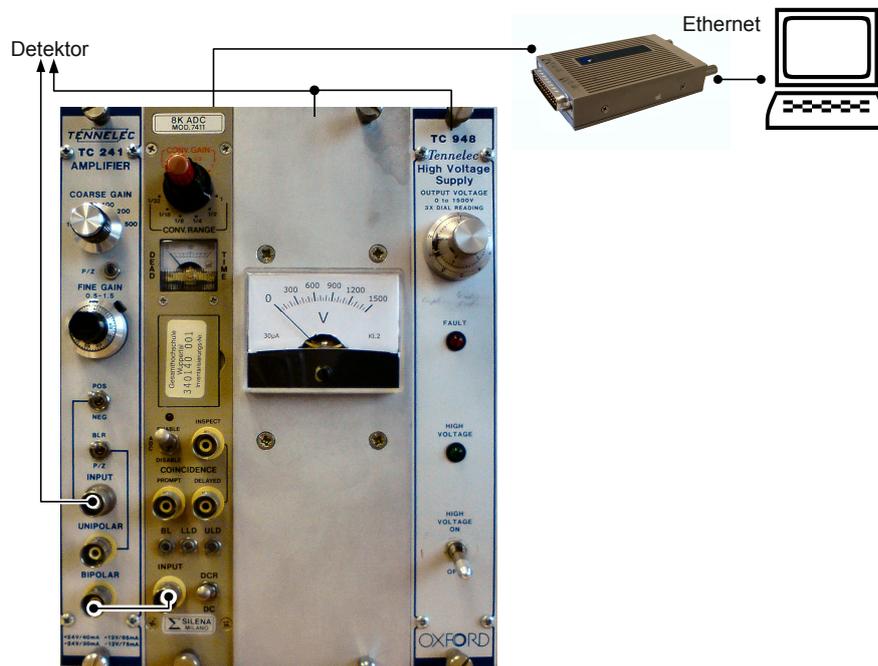


Abbildung 2: Auslesesystem des Compton-Versuchs. Von links nach rechts: Verstärker, ADC, Voltmeter, Hochspannungsnetzteil und Multichannelanalyser

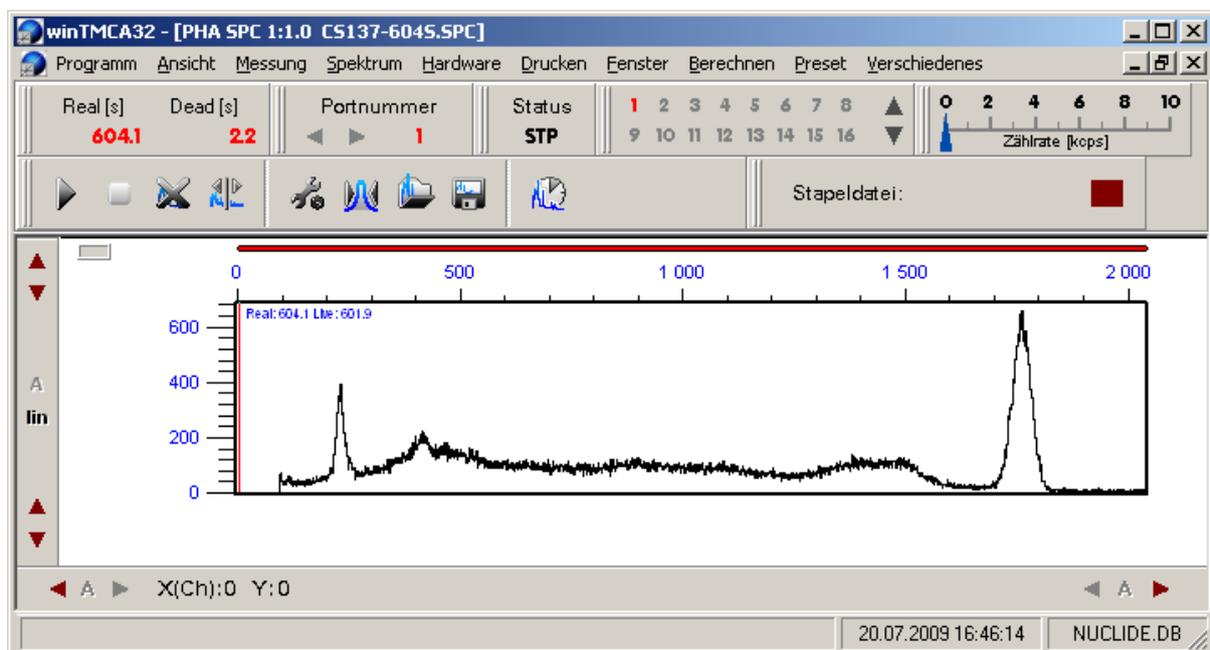


Abbildung 3: Programmoberfläche von WinTMCA

Datei, in der spaltenweise Kanalnummer, Anzahl der Einträge und deren Fehler  $\sqrt{n}$  eingetragen sind. Diese Dateien können mit den üblichen Programmen verarbeitet werden.

### 3 Versuchsdurchführung

Vorbereitend für die folgenden Versuche wird zunächst eine Kalibration des Detektors anhand verschiedener Eichpräparate vorgenommen, um eine Zuordnung von Energie zu MCA-Kanal zu ermöglichen. Anschließend wird die Absorption der verwendeten  $\gamma$ -Strahlen in Blei und Aluminium gemessen. Zuletzt werden für Winkel zwischen  $20^\circ$  und  $80^\circ$  Spektren aufgenommen, an Hand derer die Elektronenmasse und der differenzielle Wirkungsquerschnitt der Compton-Streuung bestimmt werden können.

- Die Vorschriften zum Umgang mit radioaktivem Material sind zu beachten.
- Die Eichpräparate sind nur mit einer Pinzette anzufassen und nach Verwendung in die den Aufbewahrungsbehälter zurückzulegen.
- Die starke Cs-Quelle darf ausschließlich vom Assistenten in die Bleiburg eingebracht und aus ihr entfernt werden.
- Nicht in den Strahlgang zu fassen, wenn die starke Cs-Quelle eingesetzt ist.
- Wenn die starke Cs-Quelle eingesetzt ist und der Detektor sich in der  $0^\circ$ -Position befindet, muß sich immer eine 2,5 cm Bleiplatte vor der Kollimatoröffnung befinden. Andernfalls wird der Detektor für viele Stunden angeregt und der Versuch kann am gleichen Tag nicht weitergeführt werden.

#### 3.1 Kalibration

Zunächst wird die Hochspannung für den Photomultiplier auf 600 V eingestellt. Nur für diese Spannung ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen Energie der  $\gamma$ -Strahlung und Kanalnummer des Spektrums in WinTMCA.

Mit Hilfe von verschiedenen zur Verfügung stehenden Eichpräparaten (Tabelle 1), die in Höhe der Kollimatoröffnung platziert werden, wird zunächst der Arbeitsbereich des Systems eingestellt. Hierzu wird die Verstärkung so gewählt, daß der gesamte interessierende Energiebereich vom Spektrum abgedeckt wird. Anschließend wird von allen geeigneten Präparaten ein Spektrum aufgenommen, um über die bekannten Energien den linearen Zusammenhang zu bestimmen. Da das System ein Untergrundrauschen über den gesamten Energiebereich besitzt, sollte auch ein Spektrum ohne Präparat aufgenommen werden, um es von den anderen Spektren abzuziehen.

*Welche der Eichpräparate sind für Ihren Versuch geeignet, welche nicht?*

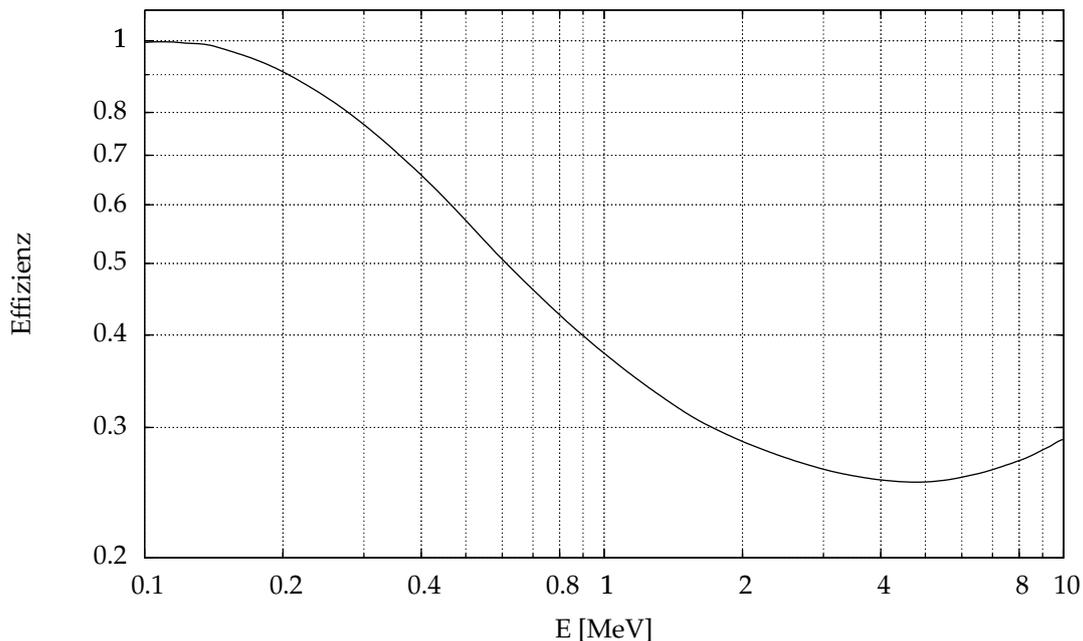
#### 3.2 Untersuchung der Absorption von $\gamma$ -Strahlung durch Blei und Aluminium

Nach dem Einbau der starken Cs-Quelle durch den Assistenten wird mit Hilfe verschieden dicker Aluminium- und Bleiplatten der Absorptionskoeffizient für 662 keV der beiden Metalle bestimmt. Da sich der Detektor dabei in der  $0^\circ$ -Stellung befindet, muß sich zwingend immer eine Bleiplatte von mindestens 2,5 cm Dicke vor der Kollimatoröffnung befinden. Andernfalls wird der Detektor so stark angeregt, daß er für mehrere Stunden rauscht, und der Versuch am selben Tag nicht weitergeführt werden kann.

*Wozu benötigen Sie die Werte für Aluminium und Blei?*

Präparat	Aktivität	Halbwertszeit	Zerfall	Energie	Wahrscheinlichkeit
$^{22}\text{Na}$		2,6 y	$\beta^+$ $\gamma$ $\gamma$	<545 keV 511 keV 1275 keV	
$^{54}\text{Mn}$		313 d	$\gamma$	835 keV	100%
$^{57}\text{Co}$		271 d	$\beta^-$ $\gamma$ $\gamma$ $\gamma$ $\gamma$	<136 keV 14 keV 122 keV 136 keV 692 keV	9,54 % 85,6 % 10,6 % 0,02 %
$^{60}\text{Co}$		5271 y	$\beta^-$ $\gamma$ $\gamma$	317,8 keV 1173,2 keV 1332,5 keV	99,92 % 99,90 % 99,90 %
$^{88}\text{Y}$		106,64 d	$\gamma$ $\gamma$ $\gamma$ $\gamma$ $\gamma$	14 keV 16 keV 898 keV 1836 keV 2734 keV	
$^{133}\text{Ba}$		10,4 y	$\gamma$ $\gamma$ $\gamma$ $\gamma$ $\gamma$	81 keV 276 keV 302 keV 356 keV 383 keV	
$^{137}\text{Cs}$		30 y	$\gamma$	662 keV	
$^{203}\text{Hg}$		47 d	$\gamma$ $\gamma$ $\gamma$ $\gamma$	279 keV 83 keV 73 keV 71 keV	
$^{241}\text{Am}$		458 y	$\gamma$	59 keV	

**Tabelle 1:** Liste der Eichpräparate. Aktivität am 1. August 1991



**Abbildung 4:** Effizienz eines NaI-Szintillators abhängig von der eingestrahnten  $\gamma$ -Energie. [1]

### 3.3 Messung des Compton-Wirkungsquerschnitts

Zur Messung des Compton-Wirkungsquerschnitts werden Spektren bei Winkeln von  $20^\circ$  bis  $80^\circ$  mindestens in  $10^\circ$ -Schritten aufgenommen. Dabei dient eine Aluminiumplatte auf der Drehachse als Streuziel, sie wird jeweils um den halben Winkel mitgedreht. *Bei diesem Versuchsteil befindet sich keine Bleiplatte vor der Kollimatoröffnung!* Zu jeder Messung gehört auch eine Messung ohne die Aluminiumplatte, um Wechselwirkungen der Quelle mit dem restlichen Versuchsaufbau berücksichtigen zu können.

Berechnen Sie aus den gewonnenen Daten den differentiellen Wirkungsquerschnitt unter Berücksichtigung möglichst vieler Einflüsse *welche?*, und vergleichen Sie ihn mit den theoretischen Werten nach Thomson und Klein-Nishina.

*Welche Daten des Versuchsaufbaus benötigen Sie?*

### 3.4 Bestimmung der Elektronenmasse

Aus der bekannten Formel

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \alpha)$$

der Wellenlängenänderung der Compton-Streuung läßt sich mit Hilfe der vorangegangenen Messungen die Elektronenmasse bestimmen. Formen Sie die Formel geeignet um, so dass sich die Elektronenmasse aus einer linearen Anpassung ergibt.

Geben Sie Ihr Ergebnis in Elektronenvolt an!

Stand: 1. Februar 2010  
S.W.