



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 γ -Strahlen, sowie mit deren Nachweis vertraut machen. Andererseits sollen anhand der Messergebnisse zu Kinetik und differentieller 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*
- [9] National Nuclear Database <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>

(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 γ -Strahlen
speziell auch:
 - zulässige Dosen
 - Vorsichtsmaßnahmen (Abschirmung, Abstand)

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

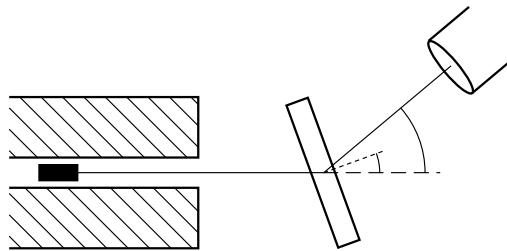


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Messung des differentiellen Wirkungsquerschnitts. Die Aluminiumplatte sollte stets auf einen Winkel eingestellt werden, der halb so groß wie der Winkel zwischen Detektor und Primärstrahl ist.

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-Präparat¹ 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 ADC². Über zwei Stellschrauben LLD³ und ULD⁴ 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 MCAs⁵, der seine Betriebsspannung über eine Netzwerkschnittstelle⁶ 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 Python⁷-Script `convert.py`, das in den Ordner mit den aufgenommenen Spektren kopiert und ausgeführt werden kann. Es erzeugt zu jeder *.SPC-Datei eine *.csv-

¹ Aktivität 1.1.1976: 30 mCi

² Analog Digital Converter

³ Lower Level Discriminator

⁴ Upper Level Discriminator

⁵ MultiChannelAnalyser

⁶ Power over Ethernet

⁷ www.python.org, Version 2.6

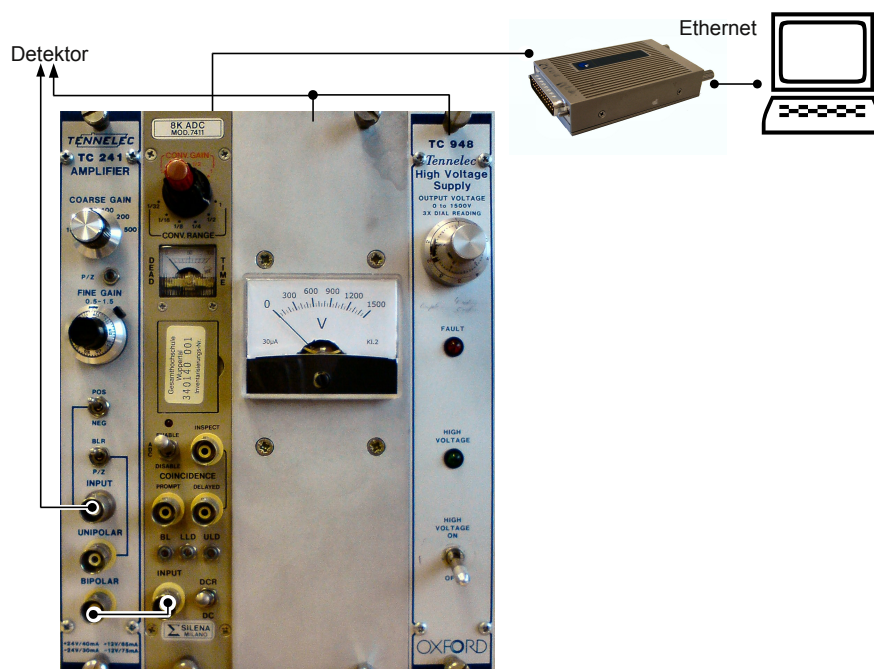


Abbildung 2: Auslesesystem des Compton-Versuchs. Von links nach rechts: Verstärker, ADC, Voltmeter, Hochspannungsnetzteil und Multichannelanalyser

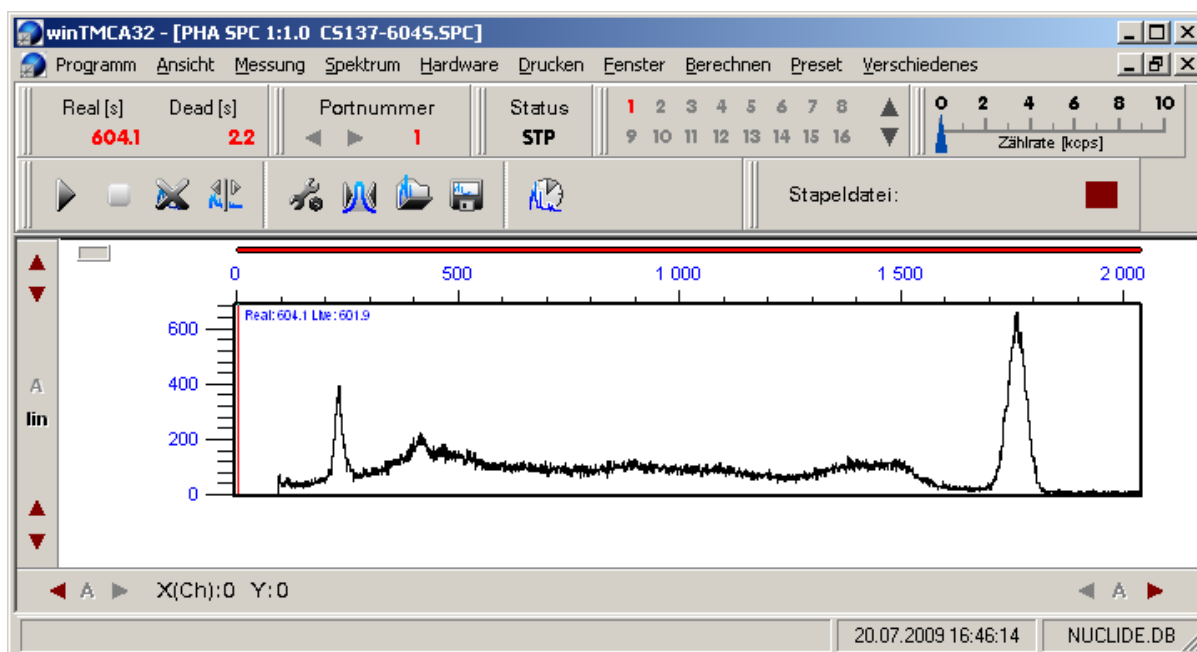


Abbildung 3: Programmoberfläche von WinTMCA

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 γ -Strahlen in Blei und Aluminium gemessen. Zuletzt werden für Winkel zwischen 20° und 90° 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 den Aufbewahrungsbehälter zurückzulegen.
- Die starke Cs-Quelle darf ausschließlich vom Assistenten in die Bleiburg eingebracht und aus ihr entfernt werden.
- Nicht in den Strahlengang zu fassen, wenn die starke Cs-Quelle eingesetzt ist.
- Wenn die starke Cs-Quelle eingesetzt ist und der Detektor sich in der 0° -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 γ -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 abziehen.

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

3.2. Untersuchung der Absorption von γ -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° -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	Halbwertszeit	Energie	Intensität
^{22}Na	2,6 y	511 keV 1275 keV	1,798 0,999
^{54}Mn	313 d	835 keV	1,000
^{57}Co	271 d	14 keV 122 keV 136 keV	0,095 0,856 0,106
^{60}Co	5271 y	1173,2 keV 1332,5 keV	0,999 0,999
^{88}Y	106,64 d	14 keV 16 keV 511 keV 898 keV 1836 keV 2734 keV	0,515 0,090 0,004 0,937 0,992 0,007
^{133}Ba	10,4 y	31 keV 35 keV 81 keV 276 keV 302 keV 356 keV 383 keV	0,649 0,233 0,341 0,072 0,183 0,621 0,089
^{137}Cs	30 y	32 keV 36 keV 662 keV	0,056 0,013 0,851
^{203}Hg	47 d	10 keV 71 keV 73 keV 83 keV 279 keV	0,059 0,038 0,064 0,028 0,815
^{241}Am	458 y	14 keV 26 keV 33 keV 60 keV	0,420 0,024 0,001 0,359

Tabelle 1: Liste der Eichpräparate. Die Liste der Energien ist nicht vollständig, weitere Informationen sind in [9] abrufbar.

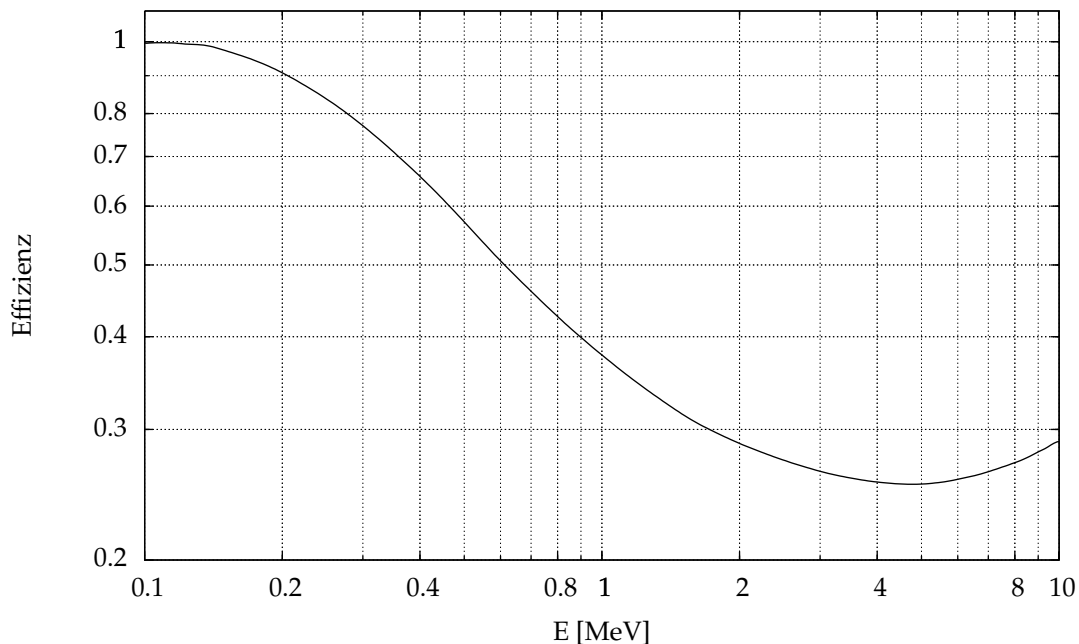


Abbildung 4: Effizienz eines NaI-Szintillators abhängig von der eingestrahlten γ -Energie. [1]

3.3. Messung des Compton-Wirkungsquerschnitts

Zur Messung des Compton-Wirkungsquerschnitts werden Spektren bei Winkeln von 20° bis 80° mindestens in 10° -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, und vergleichen Sie ihn mit den theoretischen Werten nach Thomson und Klein-Nishina.

Wie und unter welchen Einflüssen ergibt sich der differentielle Wirkungsquerschnitt aus den Daten und der Geometrie des Aufbaus?

An welchen Stellen spielt der eingestellte Winkel eine Rolle?

3.4. Bestimmung der Elektronenmasse

Aus den im vorherigen Abschnitt gemessenen Spektren läßt sich mit der bekannten Formel

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

die Elektronenmasse ermitteln. Tragen Sie $\Delta\lambda$ (oder eine geeignetere Größe) gegen α auf, und fitten Sie die Daten.

Geben Sie die Elektronenmasse in Elektronenvolt an!

A. Anmerkungen zur Auswertung

Die Auswertung erfordert die übliche Sorgfalt bei der Auswertung der Daten, der Fehlerrechnung etc. Ein besonderes Augenmerk ist jedoch auf das Fitten der Daten zu richten:

- Der Fit muss ggf. auf den Datenbereich um das interessierende Signal eingeschränkt werden.
- Das Signal selbst kann von einem Untergrund überlagert sein. Erweitern sie Ihre Funktion (z.B. Gaußkurve) geeignet, um das Signal mitsamt Untergrund gut fitten zu können.
- Eine Überlagerung mehrerer Signale sollte auch als Summe der entsprechenden Funktionen gefittet werden.
- Die Qualität eines Fits läßt sich bereits optisch abschätzen. Zu allen Fits sollten geeignete Diagramme erzeugt werden, die Daten und Funktion *deutlich* zeigen.
- Unsicherheiten der Daten müssen beim Fitten berücksichtigt werden, da sie das Fitergebnis entscheidend beeinflussen. Nur mit ihnen ist der Wert χ^2/NDF als Qualitätsmerkmal aussagekräftig.
- Alle Parameter sowie χ^2/NDF sind bei jedem Fit anzugeben.

Eine Diskussion der Ergebnisse wird vorausgesetzt. Dies trifft insbesondere zu, wenn die Ergebnisse nicht den Erwartungen entsprechen. Mögliche Ursachen lassen sich häufig nicht nur nennen, sondern auch untersuchen: Werden Probleme mit der Kalibration vermutet, könnte dies z.B. überprüft werden, indem in das Diagramm der Energie-Kanal-Eichung zusätzlich die gemessenen Kanalnummern gegen die theoretischen Energien der Compton-Messung eingetragen werden.

Stand: 4. August 2011
S.Weber