

P526 Compton-Effekt

P526.1 Versuchsziel

Im Versuch „Compton-Effekt“ soll die Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie untersucht werden, wobei der Schwerpunkt auf der Compton-Streuung liegt. Im Experiment sollen der totale Stoßwirkungsquerschnitt sowie die Winkelabhängigkeit der γ -Energie und der Intensität nach der Compton-Streuung bestimmt werden.

P526.2 Notwendige Vorkenntnisse

- Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie: Photoeffekt, Comptoneffekt, Paarbildung, Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes dieser Effekte von E_γ sowie von der Ordnungszahl Z des Absorbermaterials.
- Thomson-Streuung
- Compton-Streuung:
 - Compton-Streuformel, Compton-Wellenlänge
 - Differenzieller Wirkungsquerschnitt für Stoß und Streuung
 - Klein-Nishina-Plot
 - totaler Stoßwirkungsquerschnitt
 - Abschwächung von γ -Strahlung in Materie
 - totaler Abschwächungskoeffizient
- Szintillationsspektrometer:
 - Bauteile und deren Funktionsweise: Szintillator (Mechanismus, Bändermodell, Selbsttransparenz, ...), Photomultiplier, MCA, etc.
 - Eigenschaften (Energieauflösung, Totzeit, ...)
 - Form des Impulshöhenspektrums von γ -Strahlung (inkl. Eigenschaften wie Totalenergiepeak (Photopeak), Comptonuntergrund, Comptonkante, Rückstreupeak)
 - Intensitätsbestimmung und Ansprechwahrscheinlichkeit, Effizienz
 - Kollimation von γ -Strahlung
- Zerfallsschemata von ^{137}Cs und ^{152}Eu (dieses ohne Details)

P526.3 Literatur

- Evans: The Atomic Nucleus, S.672-689, S.728, Appendix A S.819-827
- Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments
- Knoll: Radiation Detection and Measurement Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, besonders Kap.II und Kap.X
- Siegbahn: α, β, γ -ray Spectroscopy Bd.1 Kap.II und V
- Marmier: Kernphysik

P526.4 Aufgaben

Der Versuch gliedert sich in drei Teile:

1. Messung des totalen Stoßwirkungsquerschnitts,
2. Energie- und Effizienzkalibrierung des Spektrometers,
3. Messung der Streuspektren.

Hinweis: Der Schwerpunkt dieses Versuchs liegt auf der Auswertung der aufgenommenen Spektren.

P526.5 Durchführung und Analyse

Hinweis zum Strahlenschutz: Die Abschirmung der ^{137}Cs -Quelle ist mit einem Verschlussmechanismus ausgerüstet, um eine unnötige Strahlenbelastung zu verhindern. Dieser Verschluss darf lediglich während der Messungen geöffnet sein. In der gesamten übrigen Zeit, wie beispielsweise dem Wechseln der Compton-Targets, muss der Quellenverschluss vollständig verschlossen sein! Lassen Sie sich die Funktionsweise der Abschirmung von Ihrem Assistenten erklären.

P526.5.1 Versuchsvorbereitung

Zunächst muss die Funktion des Aufbaus geprüft sowie die Datennahme mit bestmöglicher Auflösung vorbereitet werden.

Stellen Sie den Detektor in Vorwärtsrichtung in den Strahlengang der ^{137}Cs -Quelle hinter den Kollimator. Verbinden Sie den Ausgang des Photomultipliers (Anode) mit dem Oszilloskop (mittels T-Stück mit $50\,\Omega$, warum?). Während nun die Hochspannung am Photomultiplier **! langsam !** von 0 auf max. 700 V erhöht wird, soll das Ausgangssignal beobachtet werden. Ab welcher Spannung können Signale erkannt werden? Wie groß ist die Amplitude des ^{137}Cs -Photopeaks bei 700 V?

Verbinden Sie nun den Detektor mit dem Verstärker und analysieren Sie das unipolare Ausgangssignal. Protokollieren Sie das Signal und die Einstellung des Verstärkers. Welche Amplituden und Zeitverläufe weisen z. B. Photopeak und Comptonkante auf?

Verbinden Sie den unipolaren Ausgang mit dem Eingang der MCA-Karte im PC und beobachten Sie den Photopeak des ^{137}Cs -Spektrums. Stellen Sie den Verstärkungsfaktor so ein, dass der Messbereich eine Energie von etwa 1100 MeV abdeckt.

Alle folgenden Messungen sollen mit einer Messzeit von netto (Warum? Was bedeutet das?) 10 Minuten (totaler Wirkungsquerschnitt) bzw. 5 Minuten (Kalibrierung und Winkelmessung) durchgeführt werden. Die Dauer der Messung kann im Menü RANGE, PRESET des MCDWIN-Programms vorgegeben werden.

P526.5.2 Messung des totalen Stoßwirkungsquerschnitts

Dazu wird der 662 keV-Übergang aus dem Zerfall des ^{137}Cs (Abbildung P526.2) benutzt. Messen Sie zuerst in „guter“ Geometrie die Intensität dieser γ -Strahlung im Spektrometer. Dazu wird der Detektor unter 0° hinter dem Bleikollimator positioniert. Danach messen Sie nacheinander ohne und mit den vorhandenen Aluminium-Targets als Absorber senkrecht im Strahlengang die transmittierte Intensität. Welchen Effekt hat eine Verdrehung der Targets? Wie verändert sich die Totzeit in Abhängigkeit von der Ereignisrate?

P526.5.3 Energiekalibrierung des Spektrometers

Das Impulshöhenspektrum des Zerfall des ^{152}Eu -Präparats soll aufgenommen werden (Abbildung P526.1 und Tabelle P526.1). Stellen Sie dazu den Detektor auf 90° .

Ziehen Sie von den Messdaten des Eu-Spektrums eine Untergrundmessung ohne das Präparat ab. Welche Linien werden beobachtet? Sind es tatsächlich einzelne Linien, oder überlagern sich mehrere Linien in einzelnen Peaks?

Nehmen Sie eine lineare Kalibrierung der Energie mit den stärksten Übergängen des ^{152}Eu und dem 662 keV Übergang ^{137}Cs vor.

Danach bestimmen Sie aus dem Verhältnis der gemessenen Anzahl Ereignisse und den Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Übergänge die Energieabhängigkeit der Effizienz des Detektors. Warum ist es hier nicht nötig eine absolute Effizienz zu bestimmen?

P526.5.4 Messung der Streuspektren

Die Streuspektren werden mit der ^{137}Cs -Quelle gemessen. Dazu wird das 1 mm-Al Target senkrecht in den γ -Strahl gebracht und die Spektren der gestreuten Strahlung unter Winkeln von $\Theta = 35^\circ$ bis 120° in Schritten von 5° gemessen. Diese Messungen werden nur mit dem 3 cm Kollimator durchgeführt um eine ausreichende Rate zu erhalten. Für jede Messposition muss auch eine Untergrundmessung ohne Target gemacht werden, da die γ -Quanten auch an der Blei-Abschirmung und in der Umgebung gestreut werden und damit gestreute γ -Quanten auch ohne Target in den Detektor gelangen.

P526.6 Versuchsbericht und Auswertung

Im Versuch sollen zunächst der Versuchsaufbau und -ablauf kurz beschrieben werden. Die angewandten Methoden der Auswertung der erhaltenen Spektren sollen dargestellt werden. Als Publikum sollten Studierende aus Ihrem Semester in Betracht gezogen werden. Erläutern Sie also kurz lediglich Dinge, welche diesen nicht bekannt sein werden.

Anschließend soll zunächst der totale Stoßwirkungsquerschnitt aus den Messungen für die unterschiedlichen Targets bestimmt werden. Achten Sie dabei auf eine sinnvolle Berücksichtigung der Überlagerung zwischen der Compton-Kante und dem Totalenergiepeak. Vergleichen Sie den Stoßquerschnitt mit dem Literaturwert bzw. dem theoretischen Wert aus der Klein-Nishina-Formel, und diskutieren Sie Ihr Resultat.

Erstellen Sie auch eine Energie- und Effizienzkalibration. Dazu Ordnen Sie die Peaks des ^{152}Eu -Spektrums den Übergängen zu. Bestimmen Sie auch eine relative Effizienz in Abhängigkeit der Energie indem Sie das Verhältnis aus gemessener Intensität und Übergangswahrscheinlichkeit für die einzelnen Peaks berechnen. Nutzen Sie zur Interpolation der Werte im relevanten Energiebereich eine Ihnen geeignet erscheinende empirische Fitfunktion.

Bestimmen Sie aus den Streuspektren die Energie der gestreuten γ -Quanten und prüfen die Winkelabhängigkeit nach, indem Sie E_γ gegen den Streuwinkel auftragen. Ermitteln sie hieraus Energie der auf das Target treffenden Photonen. Stimmt der Wert mit der Erwartung überein? Korrigieren Sie die beobachteten Intensitäten der Photo-Peaks mit Hilfe der zuvor bestimmten Effizienz des Detektors. Berücksichtigen Sie ebenfalls die unterschiedliche Abschwächung durch unterschiedlich lange Wegstrecken im Target. Tragen Sie anschließend die korrigierten Intensitäten in einem Polarkoordinatendiagramm als Funktion des Streuwinkels Θ auf. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Klein-Nishina-Plot. Bedenken Sie dabei, dass Sie Ihre Messdaten geeignet normieren müssen.

In allen Versuchsteilen soll eine quantitative Abschätzung systematischer Fehler erfolgen und in Relation zu den statistischen Unsicherheiten diskutiert werden. Tipp: eine verlässliche und zitierbare Datensammlung der Zerfallsschemata und Spektren aller Isotope können Sie unter www.nndc.bnl.gov/nudat3/ finden.

P526.7 Anhang

P526.7.1 Zerfallsschemata der verwendeten radioaktiven Quellen

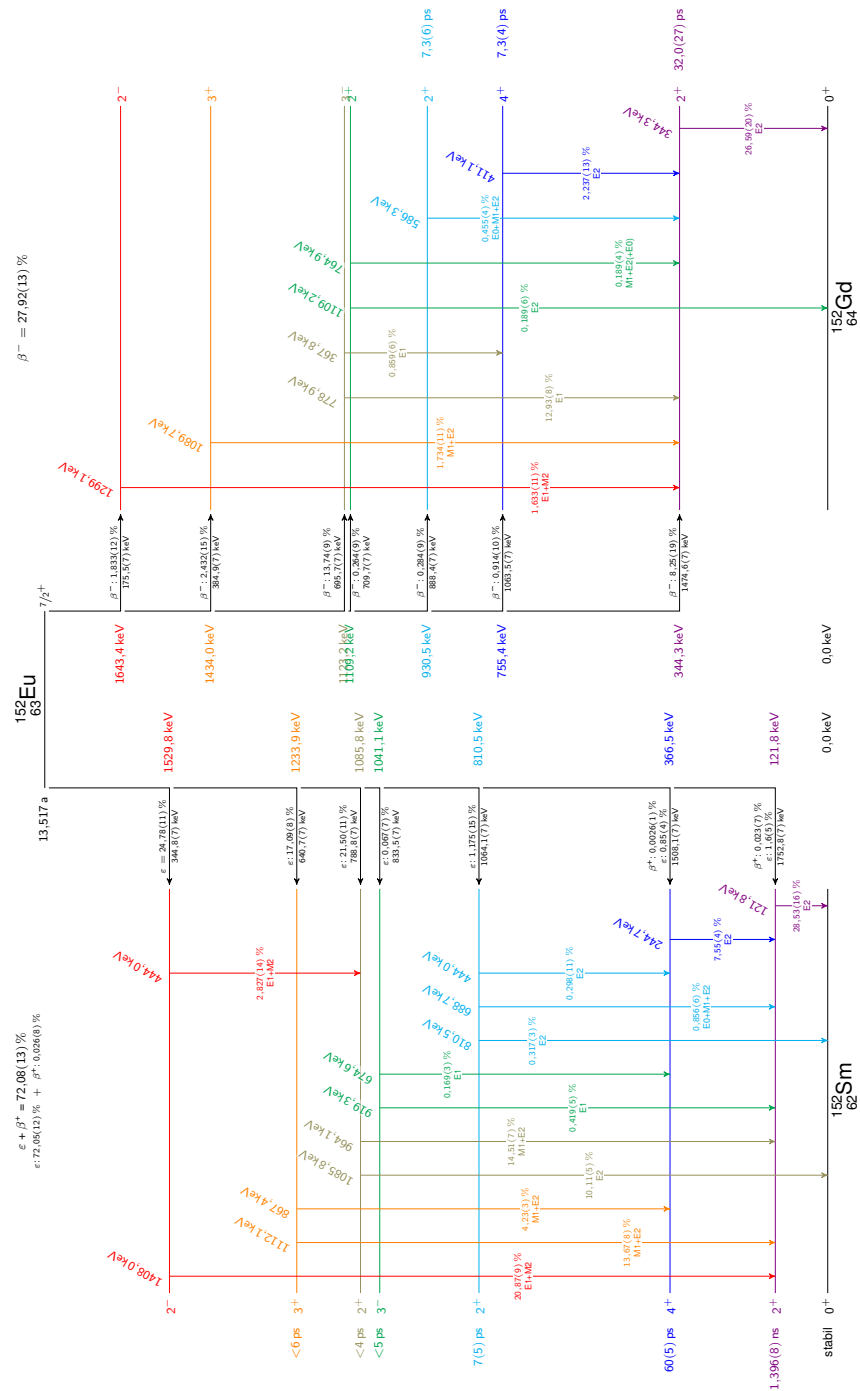


Abbildung P526.1: Zerfallsschema des ^{152}Eu (Werte von nudat3 [1–6])

Energie / keV	Rel. Int. / %	Energie / keV	Rel. Int. / %
121,7817 ± 0,0003	28,53 ± 0,16	764,88 ± 0,04	0,189 ± 0,004
244,6974 ± 0,0008	7,55 ± 0,04	778,9045 ± 0,0024	12,93 ± 0,08
295,9387 ± 0,0017	0,440 ± 0,004	810,451 ± 0,005	0,317 ± 0,003
329,41 ± 0,05	0,1213 ± 0,0024	841,574 ± 0,005	0,168 ± 0,003
344,2785 ± 0,0012	26,59 ± 0,20	867,380 ± 0,003	4,23 ± 0,03
367,7891 ± 0,0020	0,859 ± 0,006	919,337 ± 0,004	0,419 ± 0,005
411,1165 ± 0,0012	2,237 ± 0,013	926,31 ± 0,05	0,272 ± 0,003
416,02 ± 0,03	0,1088 ± 0,0019	963,367 ± 0,007	0,140 ± 0,006
443,9606 ± 0,0016	2,827 ± 0,014	964,057 ± 0,005	14,51 ± 0,07
444,01 ± 0,17	0,298 ± 0,011	1005,27 ± 0,05	0,659 ± 0,011
488,6792 ± 0,0020	0,414 ± 0,003	1085,837 ± 0,010	10,11 ± 0,05
503,467 ± 0,009	0,1524 ± 0,0020	1089,737 ± 0,005	1,734 ± 0,011
563,986 ± 0,005	0,494 ± 0,005	1109,18 ± 0,05	0,189 ± 0,006
566,438 ± 0,006	0,131 ± 0,003	1112,076 ± 0,003	13,67 ± 0,08
586,2648 ± 0,0026	0,455 ± 0,004	1212,948 ± 0,011	1,415 ± 0,008
656,489 ± 0,005	0,1441 ± 0,0022	1249,94 ± 0,05	0,187 ± 0,003
674,64 ± 0,14	0,169 ± 0,003	1299,142 ± 0,008	1,633 ± 0,011
678,623 ± 0,005	0,473 ± 0,004	1408,013 ± 0,003	20,87 ± 0,09
688,670 ± 0,005	0,856 ± 0,006	1457,643 ± 0,011	0,497 ± 0,004
719,346 ± 0,007	0,250 ± 0,008	1528,10 ± 0,04	0,279 ± 0,003

Tabelle P526.1: Energien und Intensitäten der 40 häufigsten Gamma-Linien von ^{152}Eu . Die Intensitäten sind relativ zur Anzahl der ^{152}Eu Zerfälle angegeben.[7]

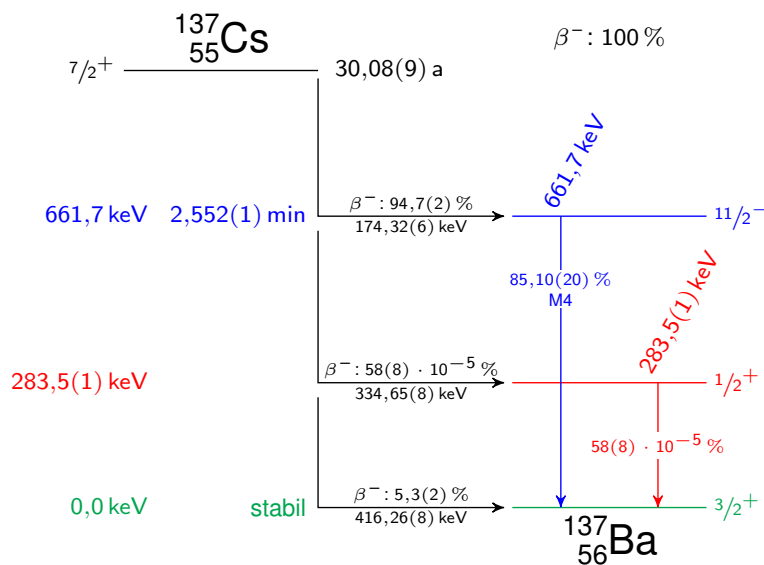


Abbildung P526.2: Zerfallsschema von ^{137}Cs (Werte aus nudat3 [8–10])

Viel Erfolg bei der Durchführung!

Stand: März 2025

Literatur

- [1] M. J. Martin. *NuDat 3.0 – Decay radiation information for ^{152}Eu (Nuclear Data Sheets 114, 1497)*. 2013. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/decaysearchdirect.jsp?nuc=152Eu> (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 5).
- [2] E. Browne und J. K. Tuli. *NuDat 3.0 – adopted levels, gammas for ^{152}Gd (Nuclear Data Sheets 114, 1497)*. 2013. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/getdataset.jsp?nucleus=152Gd&unc=NDS> (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 5).
- [3] E. Browne und J. K. Tuli. *NuDat 3.0 – ^{152}Gd levels, β^- - and γ -radiations of ^{152}Eu β^- decay (13,517y) (Nuclear Data Sheets 114, 1497)*. 2013. URL: https://www.nndc.bnl.gov/ensnds/152/Gd/beta_decay_13.517_y.pdf (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 5).
- [4] E. Browne und J. K. Tuli. *NuDat 3.0 – adopted levels, gammas for ^{152}Sm (Nuclear Data Sheets 114, 1497)*. 2013. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/getdataset.jsp?nucleus=152Sm&unc=NDS> (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 5).
- [5] E. Browne und J. K. Tuli. *NuDat 3.0 – ^{152}Sm levels, β^- - and γ -radiations of ^{152}Eu ε decay (13,517y) (Nuclear Data Sheets 114, 1497)*. 2013. URL: https://www.nndc.bnl.gov/ensnds/152/Sm/ec_decay_13.517_y.pdf (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 5).
- [6] M. J. Martin. *NuDat 3.0 – ^{152}Eu Decay radiation information (Nuclear Data Sheets 114, 1497)*. Use of γ -Lines from ε decay with $T_{1/2} = 13.517(14)$ y. 2013. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/decaysearchdirect.jsp?nuc=152Eu&unc=NDS> (besucht am 06.09.2022) (siehe S. 5).
- [7] M. J. Martin. *NuDat 3.0 – Decay radiation information for ^{152}Eu (Nuclear Data Sheets 114, 1497)*. 2013. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/decaysearchdirect.jsp?nuc=152Eu> (besucht am 12.09.2024) (siehe S. 6).
- [8] E. Browne und J. K. Tuli. *NuDat 3.0 – Decay radiation information for ^{137}Cs (Nuclear Data Sheets 108, 2173)*. 2007. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/decaysearchdirect.jsp?nuc=137Cs> (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 6).
- [9] E. Browne und J. K. Tuli. *NuDat 3.0 – adopted levels, gammas for ^{137}Ba (Nuclear Data Sheets 108, 2173)*. 2007. URL: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/getdataset.jsp?nucleus=137Ba&unc=NDS> (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 6).
- [10] E. Browne und J. K. Tuli. *NuDat 3.0 – ^{137}Ba levels, β^- - and γ -radiations of ^{137}Cs beta $^-$ decay (Nuclear Data Sheets 108, 2173)*. 2007. URL: https://www.nndc.bnl.gov/ensnds/137/Ba/beta_decay.pdf (besucht am 21.04.2022) (siehe S. 6).