



Arthur Holly Compton
Nobelpreis der Physik, 1927

Versuch zum
COMPTON-EFFEKT

Durchgeführt von
Peter Lehnhardt und Daquin Wamba

Justus-Liebig-Universität Gießen, 17. Juli 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	3
2.1	Wechselwirkungen von Photonen mit Materie	3
2.1.1	Photoeffekt	3
2.1.2	Compton-Effekt	3
2.1.3	Paarbildung	3
2.2	Theorie des Compton-Effekts	3
2.2.1	Wellenlängenänderung der Compton-gestreuten Photonen	3
2.2.2	Energie der gestreuten Photonen	4
2.2.3	Differentieller Wirkungsquerschnitt des Compton-Effekts	4
2.3	Funktionsweise von Szintillatoren	5
2.3.1	Organische Szintillatoren	5
2.3.2	Anorganische Szintillatoren	5
2.4	Funktionsweise von Photomultipliern	6
3	Versuchsaufbau und -durchführung	7
4	Messwerte	9
5	Auswertung und Fehlerrechnung	13
5.1	Energiegleichung	13
5.2	Compton-Wellenlänge des Elektrons	13
5.3	Elektronenruhemasse	14
5.4	Vergleich mit Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitt	15
6	Diskussion / Fazit	18
	Literatur	19

1 Einleitung

1922 machte Arthur Compton, die Entdeckung, dass Licht neben dem Photoeffekt auch durch einem anderen Effekt mit Materie wechselwirken kann. Bei diesem Effekt werden Elektronen von Atomen gelöst und die Wellenlänge der Photonen wird vergrößert. Dieser Effekt wurde von da an als der Compton-Effekt bezeichnet. In diesem Versuch wird aus theoretischen Berechnungen des Compton-Effektes die Compton-Wellenlänge des Elektrons und seine Masse bestimmt. Außerdem werden die Messungen des Wirkungsquerschnitts mit dem theoretischen Wirkungsquerschnitt verglichen, der von Yoshio Nishina und Oskar Klein 1929 berechnet wurde.

2 Theorie

2.1 Wechselwirkungen von Photonen mit Materie

2.1.1 Photoeffekt

Photoeffekt bezeichnet das Herauslösen von Elektronen aus einer Atomhülle. Die Energie des Photons wird dabei vollständig an das Elektron abgegeben. Ist die Energie des Photons höher als die Energie, die nötig ist, um das Elektron aus der Hülle zu lösen, nimmt dieses die restliche Energie in Form von kinetischer Energie an. Der Photoeffekt ist relevant für Photonenenergien von 5 eV bis 100 keV [6]. Entdeckt wurde der Photoeffekt von Albert Einstein, der dafür den Nobelpreis der Physik erhielt.

2.1.2 Compton-Effekt

Compton-Effekt bezeichnet die Energieübertragung von Photonen auf Elektronen bei Streuung an diesen. Durch die Verringerung der Energie der Photonen erhöht sich dabei die Wellenlänge der Photonen. Der Compton-Effekt ist relevant für Photonenenergien von 50 keV bis 1 MeV [6]. Entdeckt wurde der Compton-Effekt von Arthur Compton, der dafür den Nobelpreis der Physik erhielt.

2.1.3 Paarbildung

Paarbildung bezeichnet die Erzeugung von Elektron- und Positron-Paaren im starken elektrischen Feld des Atomkerns. Die Energie der Photonen muss dabei mindestens 1022 keV betragen, was der Ruheenergie der beiden erzeugten Teilchen entspricht. Relevant ist die Paarbildung bei Photonenenergien von 1022 keV bis 6 MeV.

2.2 Theorie des Compton-Effekts

2.2.1 Wellenlängenänderung der Compton-gestreuten Photonen

Die Wellenlängenänderung der gestreuten Photonen kann aus dem Energie- und Impulserhaltungssatz hergeleitet werden. Sei E_γ die Energie des Photons vor der Streuung, $E_{\gamma'}$ die Energie des Photons nach der Streuung und $E_{e'}$ die Energie des Elektrons nach der Streuung. Das Elektron sei vor der Streuung in Ruhe, daher ist $E_e = m_e c^2$. Die Impulse sind in der gegebenen Reihenfolge \vec{p}_γ , $\vec{p}_{\gamma'}$ und $\vec{p}_{e'}$. Nach De Broglie gelten zusätzlich die Beziehungen $|p| = h/\lambda$ und $E = h\nu$.

Der Energieerhaltungssatz lautet

$$E_\gamma + E_e = E_{\gamma'} + E_{e'} \quad \leftrightarrow \quad |\vec{p}_\gamma|c + m_e c^2 = |\vec{p}_{\gamma'}|c + \sqrt{|\vec{p}_{e'}|^2 c^2 + m_e^2 c^4}. \quad (2.2.1)$$

Umgestellt nach dem Quadrat des Elektronenimpuls nach der Streuung ergibt sich

$$|\vec{p}_{e'}|^2 = |p_\gamma|^2 + |p_{\gamma'}|^2 - 2|p_\gamma||p_{\gamma'}| + 2|p_\gamma|m_e c - 2|p_{\gamma'}|m_e c. \quad (2.2.2)$$

Der Impulserhaltungssatz lautet

$$\vec{p}_\gamma - \vec{p}_{\gamma'} = \vec{p}_{e'}. \quad (2.2.3)$$

Durch Quadrieren ergibt sich

$$|\vec{p}_{e'}|^2 = |p_\gamma|^2 + |p_{\gamma'}|^2 - 2|p_\gamma||p_{\gamma'}|\cos(\theta). \quad (2.2.4)$$

Gleichsetzen der beiden Gleichungen ergibt

$$\begin{aligned} -2|p_\gamma||p_{\gamma'}| + 2|p_\gamma|m_e c - 2|p_{\gamma'}|m_e c &= -2|p_\gamma||p_{\gamma'}|\cos(\theta) \\ 2m_e c(|p_\gamma| - |p_{\gamma'}|) &= 2|p_\gamma||p_{\gamma'}|(1 - \cos(\theta)) \\ \frac{|p_\gamma| - |p_{\gamma'}|}{|p_\gamma||p_{\gamma'}|} &= \frac{1}{m_e c}(1 - \cos(\theta)) \\ \frac{1}{|p_{\gamma'}|} - \frac{1}{|p_\gamma|} &= \frac{1}{m_e c}(1 - \cos(\theta)) \\ \lambda' - \lambda = \Delta\lambda &= \frac{h}{m_e c}(1 - \cos(\theta)). \end{aligned} \quad (2.2.5)$$

Der Vorfaktor $\lambda_c = h/m_e c$ wird dabei die Compton-Wellenlänge des Elektrons genannt.

2.2.2 Energie der gestreuten Photonen

Aus der Wellenlängenänderung der gestreuten Photonen folgt direkt

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_e c}(1 - \cos(\theta)) \quad (2.2.6)$$

Mit der Beziehung $E = hc/\lambda$ folgt weiterhin

$$\begin{aligned} E_{\gamma'} &= \frac{hc}{\lambda + \frac{h}{m_e c}(1 - \cos(\theta))} \\ &= \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2}(1 - \cos(\theta))}. \end{aligned} \quad (2.2.7)$$

2.2.3 Differentieller Wirkungsquerschnitt des Compton-Effekts

Der differentielle Wirkungsquerschnitt der Compton-Streuung ist auch als Klein-Nishina-Formel bekannt. Sie wurde von Oskar Klein und Yoshio Nishina theoretisch hergeleitet und experimentell geprüft. Für die Herleitung

sind genaue Kenntnisse in der Quantenelektrodynamik nötig, die den Rahmen dieses Protokolls sprengen würden. Daher wird die Formel nur kurz angesprochen. Der Wirkungsquerschnitt ist

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2} \frac{\alpha^2}{m^2} \left(\frac{E'_\gamma}{E_\gamma} \right)^2 \left(\frac{E'_\gamma}{E_\gamma} + \frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - \sin^2(\theta) \right) [5] \quad (2.2.8)$$

Mit dem zuvor ausgerechneten Verhältnis der Energien

$$\frac{E'_\gamma}{E_\gamma} = \frac{1}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos(\theta))}. \quad (2.2.9)$$

2.3 Funktionsweise von Szintillatoren

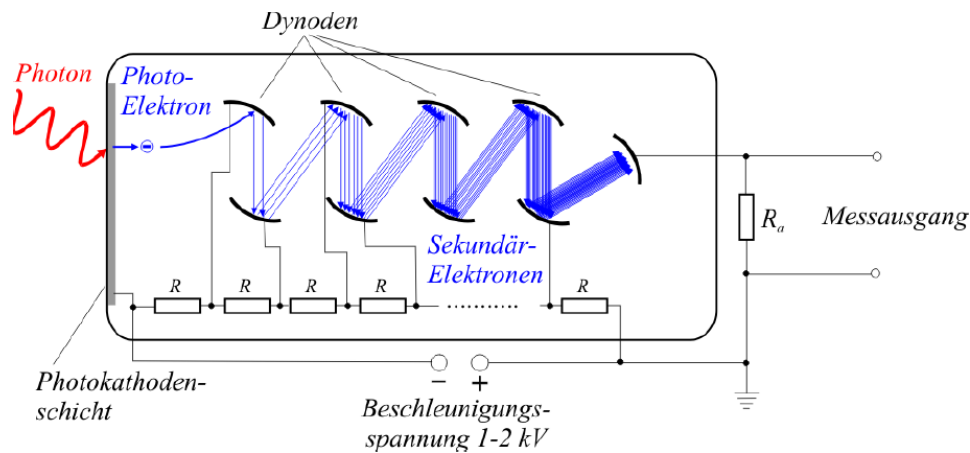
Szintillatoren sind Materialien, die durch Strahlungen angeregt werden können und wiederum durch Abregung Licht aussenden, das dann zur Bestimmung der Strahlenenergie verwendet werden kann. Die Arten der Szintillatoren und deren Funktionsweise werden im Folgenden erörtert.

2.3.1 Organische Szintillatoren

Organische Szintillatoren bestehen aus einem polymeren Fluoreszenzmaterial, das durch eintretende Strahlung angeregt wird und durch Abregung UV-Strahlung abgibt und einem sogenannten Wellenlängenschieber, der Photonen hoher Energie zur Anregung aufnimmt und mehrere Photonen niedrigerer Energie abgibt, die dann nicht mehr im Kristall aufgenommen werden können. [3] Diese können dann von einem Photomultiplier verstärkt werden. [4]

2.3.2 Anorganische Szintillatoren

Anorganische Szintillatoren sind in der Regel Einkristalle, die mit sogenannten Aktivatorzentren dotiert sind. Trifft Strahlung in den Kristall ein, werden freie Elektronen, freie Löcher oder Elektron-Loch-Paare erzeugt. Die Anzahl der erzeugten Elektronen, Löcher oder Elektron-Loch-Paare ist proportional zur im Kristall deponierten Energie. Treffen diese auf ein Aktivatorzentrum, wird dieses angeregt und emittiert unter Abregung Strahlung, die nicht mehr zur Erzeugung von Ladungspaaren genutzt werden kann, da die Energie der Photonen zu klein ist. Die so entstandene Strahlung kann dann durch ein Photomultiplier verstärkt werden. Ist der Kristall groß genug, wird die Energie der Strahlung vollständig im Kristall abgegeben und die Energie der Strahlung kann so bestimmt werden. [4]



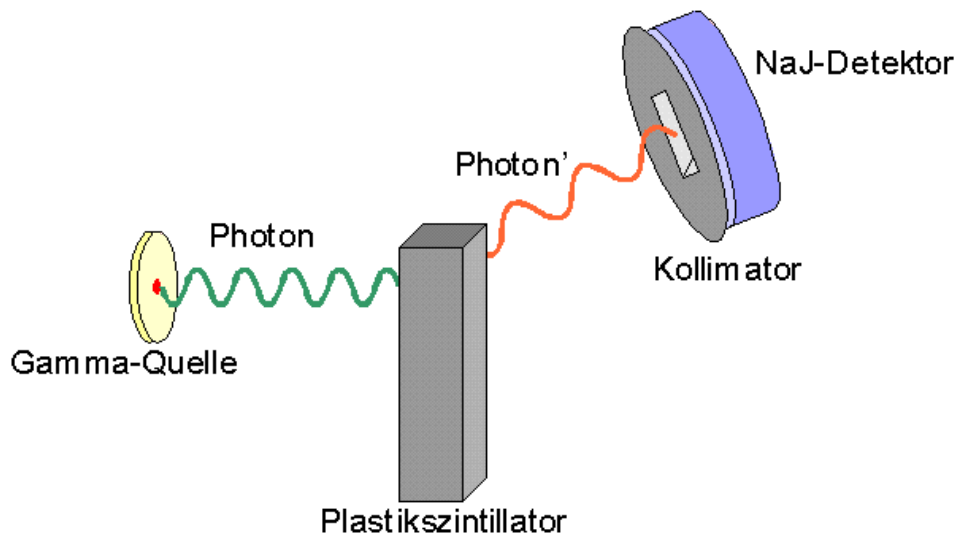
Quelle:

<https://www.uni-giessen.de/fbz/fb07/fachgebiete/physik/einrichtungen/2pi/ag/ag-kuhn/documents/compton>

Abbildung 1: Photomultiplier

2.4 Funktionsweise von Photomultipliern

Photomultiplier dienen dazu, aus registrierten Photonen elektrische Signale zu generieren. Dazu bedient es sich eines Verstärkerprinzips, das aus wenigen Elektronen viele erzeugt, die dann als messbarer Strom am Ausgang des Photomultipliers ein elektrisches Signal ergeben. Der Aufbau eines Photomultipliers ist in Abbildung 1 skizziert. Wenn Photonen auf die Photokathodenschicht treffen, lösen sie Elektronen aus dieser Schicht heraus, die dann auf die erste Dynode treffen, die positiv geladen ist. Dort löst das auftreffende Elektron wiederum Elektronen aus. Die schon vorhandenen Elektronen und die herausgelösten wandern dann zur nächsten Dynode, wo wieder Elektronen herausgelöst werden. So ergibt sich eine Kettenreaktion, die am Ende einen Verstärkungsfaktor von bis zu 100.000 erreicht.

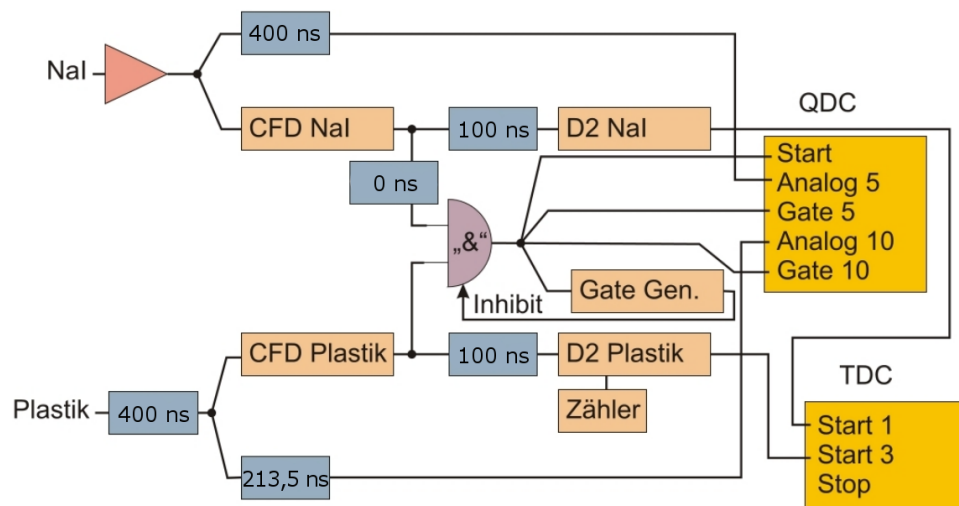


Quelle: http://meyweb.physik.uni-giessen.de/Praktikum/f-prakt_setup.gif

Abbildung 2: Szintillatorsaufbau

3 Versuchsaufbau und -durchführung

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 zu sehen. Aus einer Gamma-Quelle treten Photonen mit einer bestimmten Wellenlänge (662 keV Caesium-Quelle) aus und treffen auf einen Plasticszintillator in dem die Photonen an Elektronen gestreut werden. Die gestreuten Photonen werden samt ihrer Energie unter einem festgelegten Winkel in einem Natrium-Jodid-Szintillator gemessen. Die Energie der gestreuten Elektronen werden im Plasticszintillator gemessen, für die weitere Bearbeitung ist jedoch nur die Zählrate im Plasticszintillator nötig. Durch Einstellen des Winkels des NaI-Szintillators können die Energien der gestreuten Photonen bei verschiedenen Winkeln gemessen werden. Der im Versuch aufgebaute Schaltplan ist in Abbildung 3 gezeigt. An verschiedenen Stellen sind Verzögerungen eingebaut, damit die Signale der beiden Szintillatoren gleichzeitig in die Schaltung einlaufen. Erzeugt werden dann die Energien der Photonen und Elektronen, die am Computer anhand von Kanälen dargestellt werden, die mit einer Eichung anhand von bekannter Photonenenergien in Energien umgerechnet werden können. Zusätzlich werden die Ereignisse aus beiden Szintillatoren gezählt. Anhand der hergeleiteten Gleichung für die Energie der gestreuten Photonen wird dann die Masse des Elektrons bestimmt. Zusätzlich wird bei der 180 Grad Streuung die Compton-Wellenlänge des Elektrons bestimmt. Zum Schluss werden die Zählraten bei verschiedenen Winkeln qualitativ mit dem Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitt der Compton-Streuung verglichen.



Quelle:

<https://www.uni-giessen.de/fbz/fb07/fachgebiete/physik/einrichtungen/2pi/ag/ag-kuhn/documents/compton>

Abbildung 3: Schaltplan

Spitze	Kanal	Energie
Cs-137	675.7	662 keV
Na-22	561.0	511 keV
Pedestal	102.5	0
Pedestal	102.3	0

Tabelle 1: Eichmesswerte der bekannten Proben

Winkel	Kanal
$40^\circ \pm 5^\circ$	444.7 ± 3.0
$60^\circ \pm 5^\circ$	433.5 ± 1.3
$80^\circ \pm 5^\circ$	371.6 ± 1.4
$100^\circ \pm 5^\circ$	332.0 ± 1.1
$120^\circ \pm 5^\circ$	300.3 ± 0.8
$140^\circ \pm 5^\circ$	281.1 ± 0.8
$160^\circ \pm 5^\circ$	272.1 ± 0.6
$180^\circ \pm 5^\circ$	271.1 ± 0.4

Tabelle 2: Kanäle bei verschiedenen Winkeln

4 Messwerte

Die Messwerte bestehen aus zwei Eichspektren mit insgesamt vier fits und acht Messungen der Gammaenergie bei verschiedenen Winkeln. Die Eichspektren von Natrium-22 und Caesium-137, die Fits deren Spitzen und die Fits beider Pedestal-Spitzen sind in den Abbildungen 4 bis 7 dargestellt. Die acht Messungen der Gammaenergien bei verschiedenen Winkeln befinden sich in den Abbildungen 8 bis 15. Die Tabellen 1 und 2 zeigen die Eichmesswerte der Eichspektren von Cs-137 und Na-22 und die Messwerte der Photonenenergien bei verschiedenen Winkeln. Die Messwerte in diesen Tabellen sind durch die Fits in den besagten Eichspektren gegeben. Die Fehler der Kanäle wurden direkt aus den Fits in den Abbildungen bestimmt. Die Fehler der Winkel wurden zu 5 Grad angenommen, da der Versuchsaufbau und die Winkeleinstellung sehr ungenau waren.

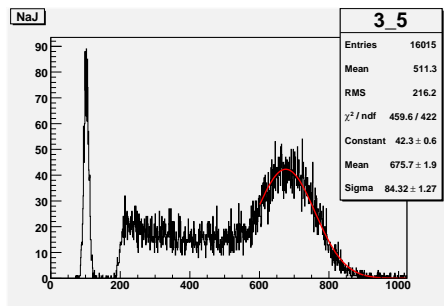


Abbildung 4: Spektrum von Cs-137

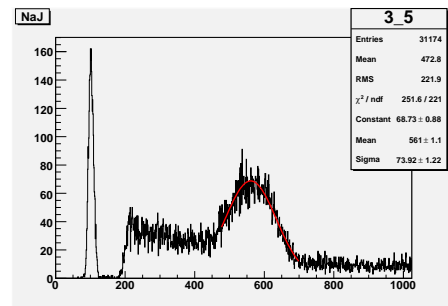


Abbildung 5: Spektrum von Na-22

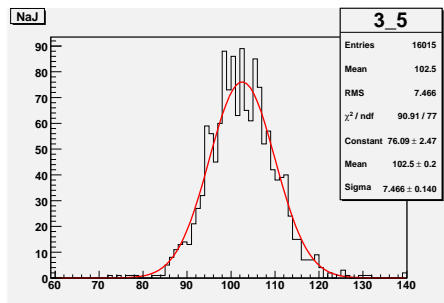


Abbildung 6: Pedestal von Cs-137

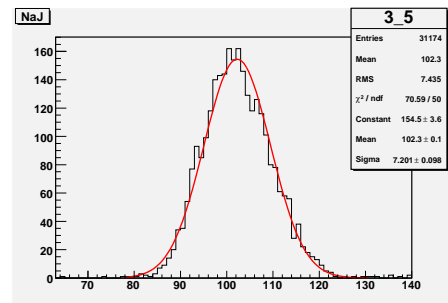


Abbildung 7: Pedestal von Na-22

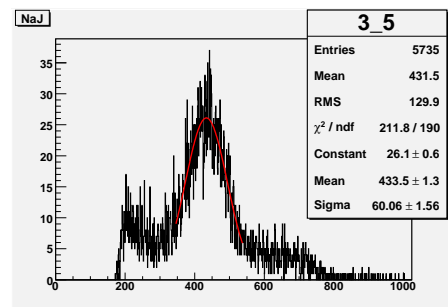
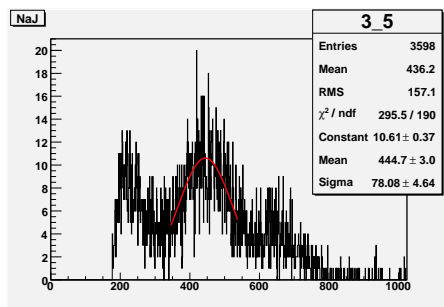


Abbildung 8: Cs-Spektrum 40 Grad Abbildung 9: Cs-Spektrum 60 Grad
Streuwinkel Streuwinkel

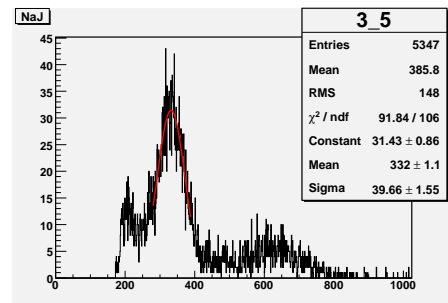
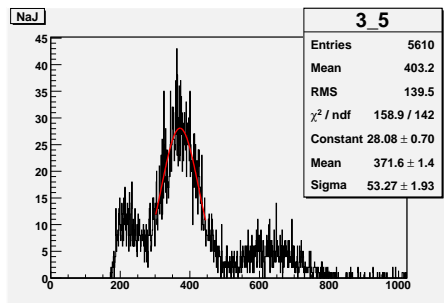


Abbildung 10: Cs-Spektrum 80 Grad Abbildung 11: Cs-Spektrum 100 Grad
Streuwinkel Streuwinkel

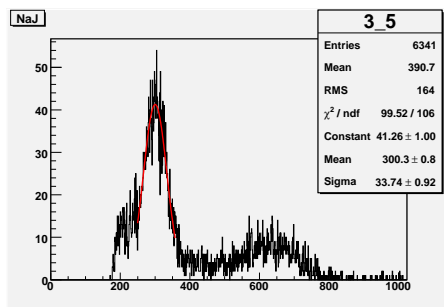


Abbildung 12: Cs-Spektrum 120 Grad Streuwinkel

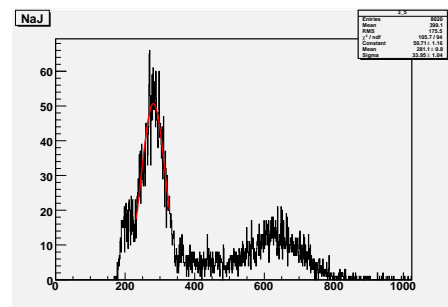


Abbildung 13: Cs-Spektrum 140 Grad Streuwinkel

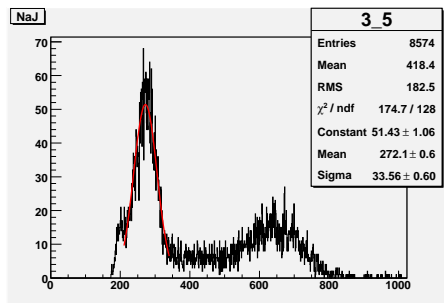


Abbildung 14: Cs-Spektrum 160 Grad Streuwinkel

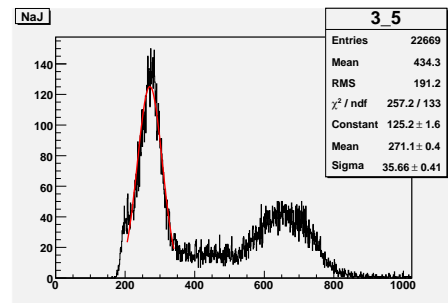


Abbildung 15: Cs-Spektrum 180 Grad Streuwinkel

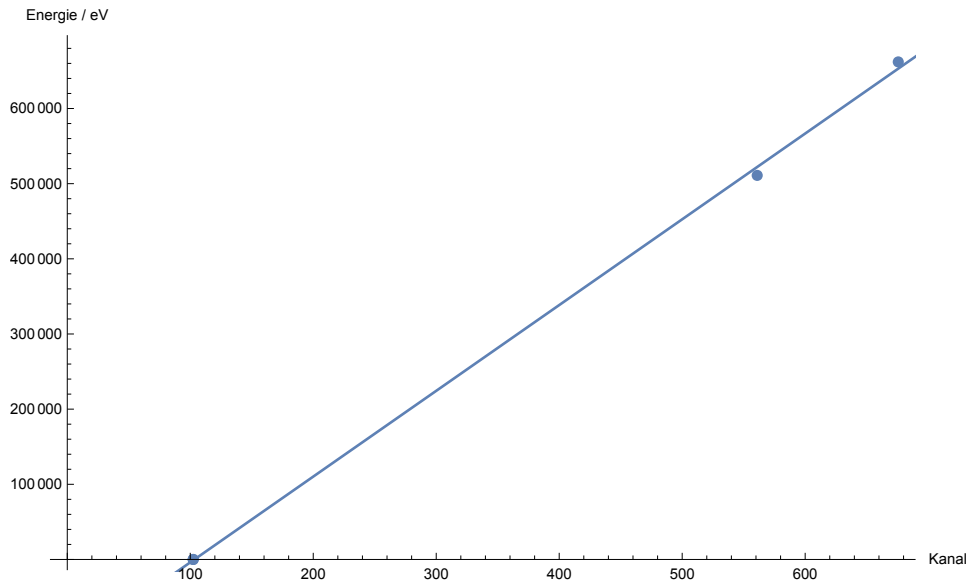


Abbildung 16: Eichfit

5 Auswertung und Fehlerrechnung

5.1 Energieeichung

Die zur Eichung benötigten Werte sind in Tabelle 1 aufgetragen. Diese Werte bestehen jeweils aus zwei gemessenen Photonenenergien, deren Energien bekannt sind und Kanäle gemessen wurden und zwei gemessenen Pedestals, deren Energien bei Null liegen, da es sich bei diesen um kleine elektrische Schwankungen handelt, die irrtümlicherweise als Messung gezählt werden. Durch lineare Regression der Datenpunkte ergibt sich eine Gerade, die als Umrechnung von Kanal zu Energie erlaubt. Der Fit ist in Abbildung 16 dargestellt und wurde mit Mathematica bestimmt. Die Geradengleichung samt Fehler ergibt sich zu

$$\text{Energie} = (1141 \pm 19) \cdot \text{Kanal} - (118000 \pm 8700). \quad (5.1.1)$$

Durch Umrechnen der Werte aus Tabelle 2 ergeben sich die Werte in Tabelle 3.

5.2 Compton-Wellenlänge des Elektrons

Die Compton Wellenlänge des Elektrons ergibt sich direkt aus der 180 Grad Streuung. Dort gilt nämlich

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos(\pi)) = \frac{2h}{m_e c} = 2\lambda_c \quad (5.2.1)$$

Winkel	Energie
$40^\circ \pm 5^\circ$	$(389.4 \pm 8.8) \text{ keV}$
$60^\circ \pm 5^\circ$	$(376.6 \pm 8.7) \text{ keV}$
$80^\circ \pm 5^\circ$	$(306.0 \pm 8.7) \text{ keV}$
$100^\circ \pm 5^\circ$	$(260.8 \pm 8.7) \text{ keV}$
$120^\circ \pm 5^\circ$	$(224.6 \pm 8.7) \text{ keV}$
$140^\circ \pm 5^\circ$	$(202.7 \pm 8.7) \text{ keV}$
$160^\circ \pm 5^\circ$	$(192.5 \pm 8.7) \text{ keV}$
$180^\circ \pm 5^\circ$	$(191.3 \pm 8.7) \text{ keV}$

Tabelle 3: Photonenenergien bei verschiedenen Winkeln

Durch Umrechnung in Energien ergibt sich dann für die Compton-Wellenlänge des Elektrons

$$\lambda_c = \frac{1}{2}(\lambda' - \lambda) = \frac{hc}{2} \left(\frac{1}{E'_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma} \right) \quad (5.2.2)$$

mit der gemessenen Energie der Photonen, nach Umrechnung $E'_\gamma = (191,3 \pm 8,7) \text{ keV}$, und der Energie der ungestreuten Photonen der Cs-Quelle mit einer Energie von $E_\gamma = 662 \text{ keV}$. Da der Winkel jedoch nicht genau 180° war, muss als Winkel etwa $\theta = 175^\circ \pm 5^\circ$ angenommen werden. Die Gleichung lautet dann

$$\lambda_c = \frac{1}{1 - \cos(\theta)}(\lambda' - \lambda) = \frac{hc}{1 - \cos(\theta)} \left(\frac{1}{E'_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma} \right) \quad (5.2.3)$$

mit dem Ergebnis

$$\lambda_c = (2,30 \pm 0,15) \cdot 10^{-12} \text{ m}. \quad (5.2.4)$$

Der Fehler ergibt sich dabei aus dem Umrechnungsfehler des Kanals zur Energie und dem Fehler des Winkels per Fehlerfortpflanzung. Die Energie der Photonen der Caesium-Quelle sowie die Naturkonstanten wurden dabei als genau angenommen.

5.3 Elektronenruhemasse

Die Elektronenruhemasse wird aus der Messreihe der Photonenenergien bei verschiedenen Winkeln aus Tabelle 3 ermittelt. Wie bereits hergeleitet gilt die Beziehung

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = hc \left(\frac{1}{E'_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma} \right) = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos(\theta)). \quad (5.3.1)$$

Durch Umschreiben folgt direkt

$$c^2 \left(\frac{1}{E'_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma} \right) = \frac{1}{m_e} (1 - \cos(\theta)). \quad (5.3.2)$$

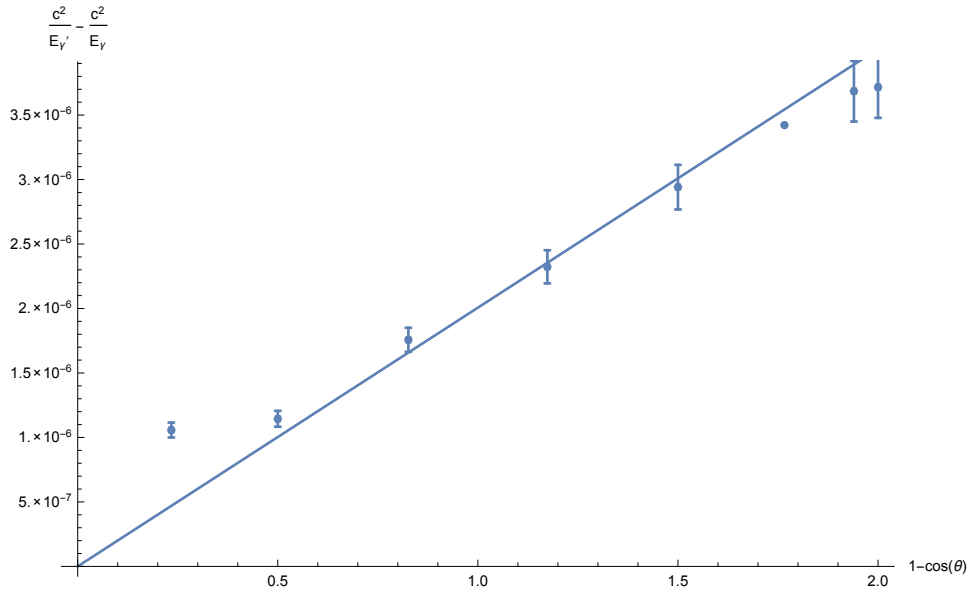


Abbildung 17: Energiefit gegen Winkel

Durch Plotten von $c^2(1/E'_\gamma - 1/E_\gamma)$ gegen $1 - \cos(\theta)$ mit $E_\gamma = 662 \text{ keV}$ ergibt sich die Elektronenruhemasse aus dem Kehrwert der Steigung. Der Plot und der Fit sind in Darstellung 17 gezeigt. Gefittet wurde mit einer Geradengleichung ohne vertikalen Versatz, damit die Gerade durch den Ursprung verläuft, der nach den Formeln geschnitten werden muss. Die Fehler der Punkte ergeben sich wieder aus der Umrechnung von Kanal zu Energie. Fehler der Winkel wurden dabei ebenfalls einbezogen. Beim Fit handelt es sich um einen fehlergewichteten Fit, der die Multiplikation beider reziproken Fehlerquadrate minimiert. Die Steigung m des Fits ergibt sich zu

$$m = (2,00633 \pm 0,00017) \cdot 10^{-6} \text{ keV}^{-1}. \quad (5.3.3)$$

Aus dem Kehrwert der Steigung ergibt sich direkt die Masse des Elektrons zu

$$m_e = (498 \pm 42) \text{ keV}. \quad (5.3.4)$$

5.4 Vergleich mit Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitt

Die Kurve des Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitts ist in Abbildung 18 dargestellt. Die Messungen des Wirkungsquerschnitts beschränken sich auf die Messung der normierten Zählrate bei den verschiedenen Winkeleinstellungen. Die normierte Zählrate wird berechnet, indem die im Natrium-Jodid-Szintillator detektierten Teilchen durch die im Plastiksintillator detektierten geteilt werden. Wichtig dabei ist, dass nur diejenigen Ereignisse des NaI-

Winkel	Zählrate NaI	Zählrate Plastik	Normierte Zählrate
$40^\circ \pm 5^\circ$	3598	644596	0,0026
$60^\circ \pm 5^\circ$	5735	614645	0,0051
$80^\circ \pm 5^\circ$	5610	673034	0,0044
$100^\circ \pm 5^\circ$	5347	704081	0,0035
$120^\circ \pm 5^\circ$	6341	765682	0,0036
$140^\circ \pm 5^\circ$	8020	865867	0,0040
$160^\circ \pm 5^\circ$	8574	770076	0,0045
$180^\circ \pm 5^\circ$	22669	1910554	0,0047

Tabelle 4: Zählraten bei verschiedenen Winkeln

Szintillators beachtet werden, die zur Streuung und nicht zum Untergrund gehören. Aus diesem Grund werden nur die Ereignisse aus dem Peak gewertet, deren Anzahl durch die Peakhöhe multipliziert mit der Breite ergibt. Diese Zählrate geteilt durch die Zählrate im Plastiksintillator ergibt dann die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Streuung in die jeweils betrachtete Richtung erfolgt ist, was ebenfalls durch den Wirkungsquerschnitt dargestellt wird. Die Zählraten in beiden Szintillatoren bei allen gemessenen Winkeln und die daraus resultierende normierte Zählrate ist in Tabelle 4 dargestellt. Diese Werte sind dargestellt in Abbildung 19. Im folgenden soll nur ein qualitativer Vergleich zwischen der Theorie und den Messungen gezogen werden. Skalierungen der Ordinate bleiben daher unberücksichtigt. Wie zu sehen ist, ähneln sich die Theorie und die Messungen nur sehr wenig. Der erste Messpunkt bei 40 Grad ist weit unterhalb der anderen Messungen, obwohl dort nach der Theorie der höchste Punkt vorliegen sollte. Da jedoch auch in der Massenbestimmung des Elektrons dieser Punkt weiter von der Geraden abgewichen ist, kann zumindest dieser als Messfehler deklariert werden. Die Punkte zwei bis vier zeigen ein angemessenes Verhalten, indem diese eine recht steil abfallende Kurve darstellen, was auch in der Theorie der Fall ist. Statt jedoch auf einen kleinen Wert abzufallen und dort bis 180 Grad zu bleiben steigt die Kurve aus den Messwerten signifikant wieder an, was im deutlichen Kontrast zur Theorie steht. Warum die Messwerte am rechten Ende wieder nach oben verlaufen, darüber kann nur spekuliert werden. Die Geometrie der Anordnung von Detektor und Gammaquelle war nicht sehr genau eingestellt, ob dies jedoch den gemessenen Verlauf verursacht hat, kann nur erahnt werden.

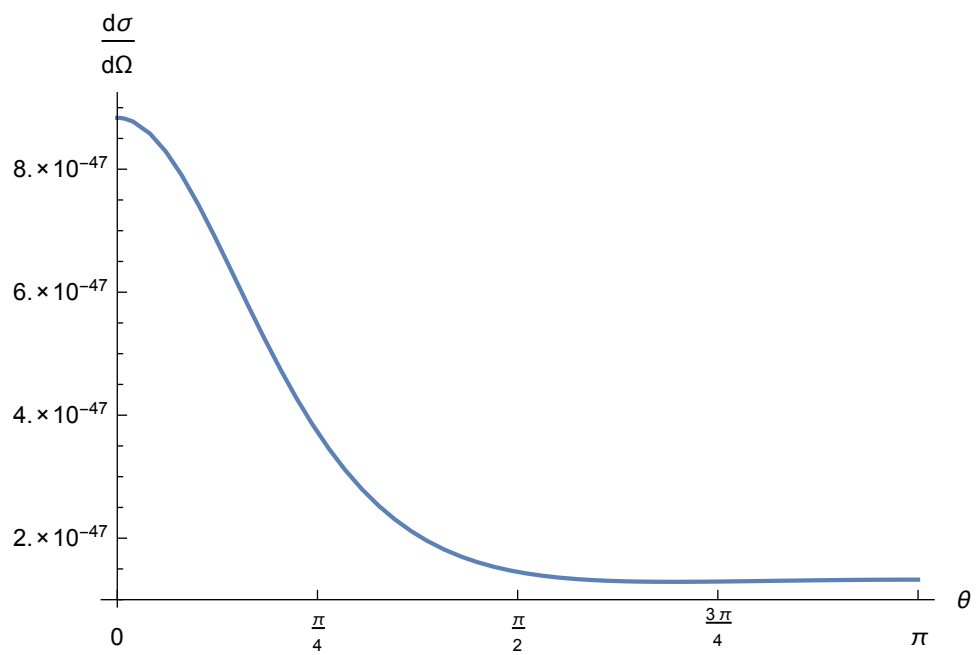


Abbildung 18: Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitt

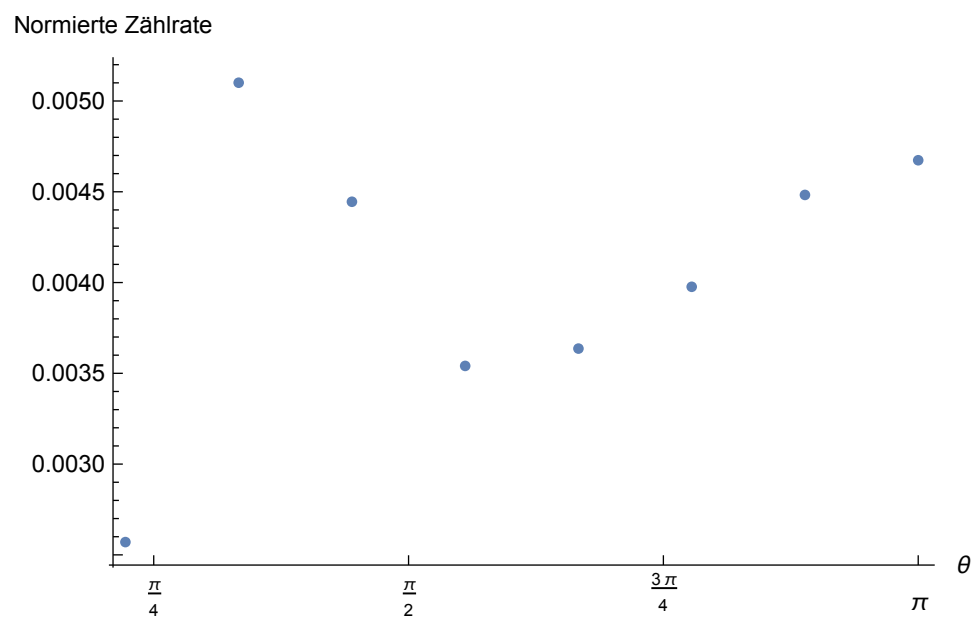


Abbildung 19: Zählraten bei verschiedenen Winkeln

6 Diskussion / Fazit

Trotz des recht ungenauen Aufbaus der Streugeometrie konnten die Masse und die Compton-Wellenlänge des Elektrons bestimmt werden. Die echte Comptonwellenlänge des Elektrons mit $\lambda_c = h/m_e c = 2,4263102367(11) \cdot 10^{-12} \text{ m}$ [1] liegt im in diesem Versuch berechneten Bereich. Die echte Elektronenmasse liegt bei $m_e = 9,10938356(11) \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ [2] und ebenfalls in dem hier berechneten Bereich. Lediglich der Vergleich der Messungen mit dem Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitt hat nicht die erhofften Ergebnisse geliefert. Der Verlauf der Messungen weicht teilweise erheblich vom theoretischen Verlauf des Wirkungsquerschnittes ab. Möglicherweise war die Statistik der Ereignisse für den betrachteten Zeitraum von einigen Minuten Messzeit zu schlecht. Für eine genauere Analyse müsste jedoch der Versuchsaufbau genauer analysiert werden.

Literatur

- [1] NIST. Codata value: Compton wavelength, 2014. [Online; accessed 29-June-2016].
- [2] NIST. Codata value: electron mass, 2014. [Online; accessed 29-June-2016].
- [3] Wikipedia. Wellenlängenschieber, 2014. [Online; accessed 27-June-2016].
- [4] Wikipedia. Szintillator, 2015. [Online; accessed 27-June-2016].
- [5] Wikipedia. Klein-nishina-wirkungsquerschnitt, 2016. [Online; accessed 15-June-2016].
- [6] Wikipedia. Photon - wechselwirkung von photonen mit materie, 2016. [Online; accessed 15-June-2016].