

V603

# Compton-Effekt

Nico Guth  
nico.guth@tu-dortmund.de

Abgabe: 04.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1 Bestimmung des Emissionsspektrums der Cu-Röntgenröhre . . . . .	6
4.2 Bestimmung der Transmission vom Aluminiumabsorber . . . . .	7
4.3 Bestimmung der Compton-Wellenlänge . . . . .	8
<b>5 Diskussion</b>	<b>8</b>
<b>Literatur</b>	<b>9</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>9</b>

# 1 Zielsetzung

Dieser Versuch dient der Bestimmung der Compton Wellenlänge von Elektronen anhand des Compton Effektes.

# 2 Theorie

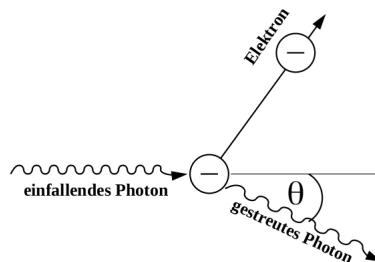
Der Compton Effekt beschreibt die Streuung eines Photons an einem Elektron. Beim Stoß mit dem Elektron gibt das Photon Energie ab und dessen Wellenlänge wird gestreckt. Die Größe dieser Veränderung hängt vom Streuwinkel  $\Theta$  ab, wobei  $\Theta = 0^\circ$  bedeutet, dass die Bahn des Photons nicht verändert wurde. Wenn  $\lambda_1$  die Wellenlänge vor dem Stoß und  $\lambda_2$  die Wellenlänge nach dem Stoß beschreibt, lässt sich die Differenz über

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \Theta) \quad (1)$$

berechnen. Der Vorfaktor ist proportional zu den Naturkonstanten der Lichtgeschwindigkeit  $c$ , dem Planckschen Wirkungsquantum  $h$  und der Elektronenmasse  $m_e$ . Dieser konstante Vorfaktor

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} \quad (2)$$

heißt Compton Wellenlänge.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Compton Effekts.[1]

Um den Effekt beobachten zu können wird hier Röntgenstrahlung an Plexiglas gestreut. Die ausfallende Strahlung wird über ein Geiger-Müller-Zählrohr und über die Transmission durch eine Aluminiumplatte mit der einfallenden Strahlung verglichen. Diese Röntgenstrahlung wird in einer Röntgenröhre erzeugt, in der Elektronen von einer Glühkathode auf eine Anode beschleunigt werden. Der Zusammenstoß auf der Anode erzeugt  $\gamma$ -Strahlung.

Das Spektrum dieser Strahlung hängt vom Material der Anode ab. Dieses ist zwar kontinuierlich, allerdings sind zwei Maxima in der Intensität deutlich zu erkennen, da diese

Photonenenergien gerade der Energiedifferenz der Energieniveaus eines Anodenatoms entspricht.

Um die Wellenlänge  $\lambda$  mit einer Photonenenergie in Verbindung zu bringen wird

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

verwendet.

Um das charakteristische Spektrum der hier verwendeten Kupferanode zu bestimmen, wird die Röntgenstrahlung an einem LiF-Kristall gebeugt. Hierbei entsteht beim Glanzwinkel  $\alpha$  eine konstruktive Interferenz, welche von der Wellenlänge der Röntgenstrahlung abhängt. Die zugehörige Wellenlänge zum Winkel  $\alpha$  kann über

$$\lambda = \frac{2d}{n} \sin \alpha \quad (4)$$

bestimmt werden. Hier ist  $d$  die Gitterkonstante des Kristalls und  $n$  die Beugungsordnung.

Der Geiger-Müller-Zähler kann die Strahlung nicht kontinuierlich messen, sondern hat eine Totzeit  $\tau$ . Daher muss dies über

$$I = \frac{N}{1 - \tau N} \quad (5)$$

korrigiert werden. Hier ist  $N$  die Anzahl der Anschläge des Geiger-Müller-Zählers und  $I$  die Intensität der Strahlung.[1]

### 3 Durchführung

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 zu sehen und besteht aus einer Röntgenröhre, einem Geiger-Müller Zählrohr und wahlweise einem LiF-Kristall oder einem Plexiglasstreuer. Zwischen Röntgenröhre und Streuer kann eine Blende eingesetzt werden und an verschiedenen Stellen im Strahlengang kann eine Aluminiumplatte als Absorber eingesetzt werden.

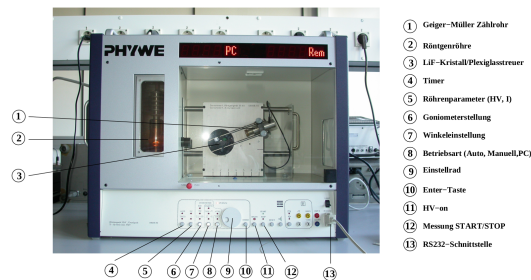


Abbildung 2: Versuchsaufbau.[1]

Um das Emissionsspektrum der Röntgenröhre zu messen, wird der LiF-Kristall und eine 2 mm Blende verwendet. Es wird in  $\Delta\alpha = 0,1^\circ$  Schritten von  $\alpha = 8^\circ$  bis  $\alpha = 25^\circ$  für je 10 Sekunden gemessen.

Als nächstes wird die Transmission durch eine Aluminiumplatte je Wellenlänge  $T(\lambda)$  gemessen. Dafür wird immernoch mit dem LiF-Kristall die Intensität für  $\alpha = 7^\circ$  bis  $\alpha = 10^\circ$  gemessen. Es wird einmal ohne Aluminiumplatte und einmal mit eingesetzter Aluminiumplatte zwischen Blende und LiF-Kristall gemessen.

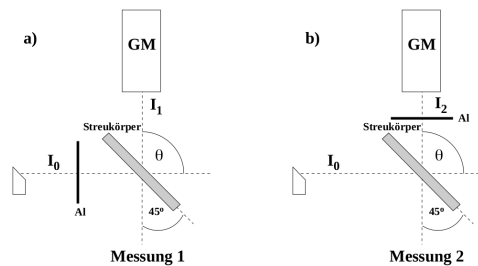


Abbildung 3: Schematischer Versuchsaufbau.[1]

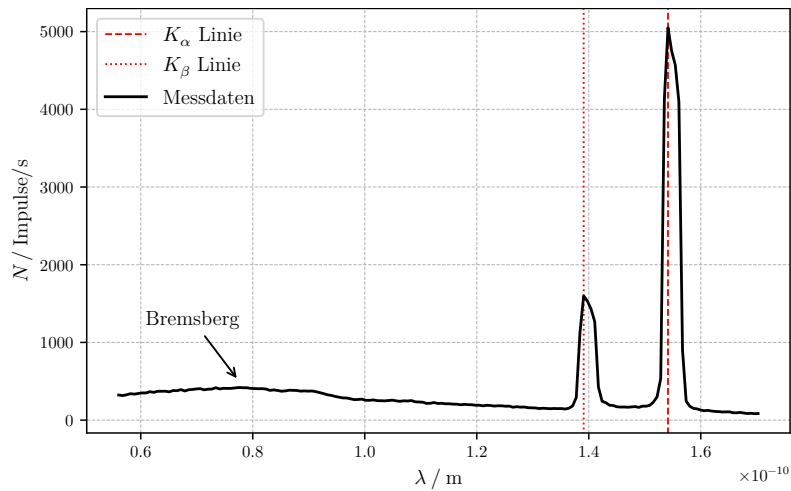
Um die Compton-Wellenlänge zu bestimmen wird statt LiF-Kristall ein Plexiglasstreuer und statt der 2 mm Blende eine 5 mm Blende verwendet. Der Kristall wird auf  $45^\circ$  und der Geiger-Müller Zähler auf  $90^\circ$  gestellt. (siehe Abbildung 3) Mit diesem Aufbau werden bei einer Integrationszeit von je 300 Sekunden drei Verschiedene Intensitäten gemessen. Als erstes wird die Intensität der gestreuten Röntgenstrahlung ohne einen Aluminiumabsorber gemessen. Dann wird die Intensität gemessen, wenn die Aluminiumplatte

zwischen Röntgenröhre und Plexiglasstreuer ist. (Abbildung 3a) Und als letztes wird mit der Aluminiumplatte zwischen Plexiglasstreuer und Geiger-Müller Zähler gemessen. (Abbildung 3b)

## 4 Auswertung

### 4.1 Bestimmung des Emissionsspektrums der Cu-Röntgenröhre

Die erste in Abschnitt 3 beschriebene Messung ergibt die Messwerte in Tabelle 2. In Abbildung 4 werden die Messwerte nun als  $\lambda - N$  Diagramm dargestellt indem Gleichung 4 verwendet wird. Dabei wird die Gitterkonstante  $d = 201,4 \cdot 10^{-12}$  m des LiF-Kristall und die Beugungsordnung  $n = 1$  angenommen.



**Abbildung 4:** Plot des Emissionsspektrums der Röntgenröhre

Hier werden die Stellen der relativen Maxima abgelesen und über Gleichung 3 in eine Photonenenergie übertragen. Als Naturkonstanten werden hier

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$$

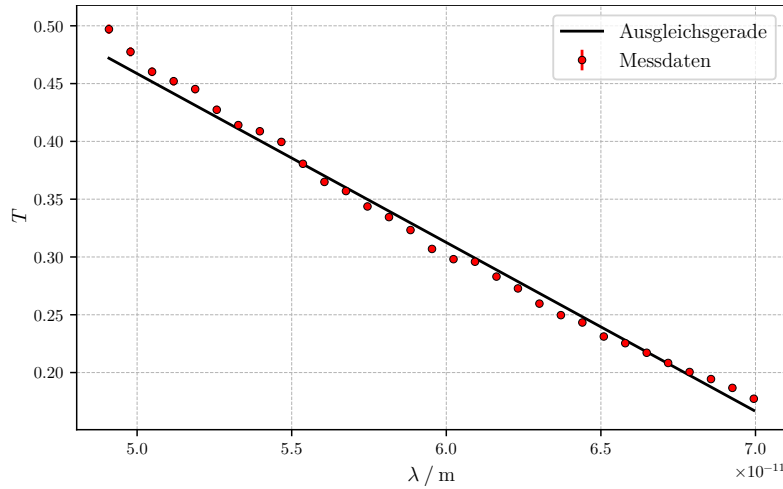
verwendet. [2] Damit ergeben sich

$$E(K_\alpha) = 8044 \text{ eV}$$

$$E(K_\beta) = 8915 \text{ eV}.$$

## 4.2 Bestimmung der Transmission vom Aluminiumabsorber

Die zweite in Abschnitt 3 beschriebene Messung ergibt die Messwerte in Tabelle 3. Ziel ist es nun aus diesen Ergebnissen eine Funktion  $T(\lambda)$  zu Ermitteln, die die Transmission der Röntgenstrahlung durch die Aluminiumplatte beschreibt. Dafür wird zuerst mithilfe von Gleichung 4, Gleichung 5 und  $T = \frac{I_{\text{Al}}}{I_{\text{ohne}}}$  ein  $\lambda - T$  Diagramm erstellt. Dieses ist in Abbildung 5 zu sehen. Die Totzeit des Geiger-Müller Zählers wird als  $\tau = 90 \cdot 10^{-6} \text{ s}$  angenommen und die Integrationszeit der einzelnen Messungen beträgt  $t = 200 \text{ s}$ . Hierbei wird für  $N$  ein Fehler  $\Delta N = \sqrt{N} \cdot t/t$  verwendet und es wird mit der Python Bibliothek uncertainties gerechnet.[3]



**Abbildung 5:** Plot der Transmission von Röntgenstrahlung durch einen Aluminiumabsorber

Eine Ausgleichsgerade wird über die Python Funktion `curve_fit` der Bibliothek SciPy erstellt. [4] Als Gleichung wird hierfür

$$T(\lambda) = a \cdot \lambda + b \quad (6)$$

verwendet und die Ausgleichsrechnung ergibt die Parameter

$$a = (-1,461 \pm 0,025) \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{m}}$$

$$b = 1,189 \pm 0,016.$$

### 4.3 Bestimmung der Compton-Wellenlänge

Der letzte Teil der Messung ergibt die insgesamt gemessenen Impulse in einer Integrationszeit von  $t = 300\text{ s}$  für drei verschiedene Szenarien

$$\begin{aligned} I_0 &= 2731 \text{ Impulse} \\ I_1 &= 1180 \text{ Impulse} \\ I_2 &= 1024 \text{ Impulse.} \end{aligned}$$

Hier steht  $I_0$  für die Messung ohne Aluminiumabsorber,  $I_1$  für die Messung mit Aluminiumabsorber zwischen Blende und Plexiglasstreuer und  $I_2$  für die Messung mit Aluminiumabsorber zwischen Plexiglasstreuer und Geiger-Müller Zählrohr.

Mithilfe der Ausgleichsrechnung aus Unterabschnitt 4.2,  $T_i = I_i/I_0$  und

$$\lambda_i = \frac{T_i - b}{a} \quad (7)$$

ergeben sich die Wellenlängen

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= (5,18 \pm 0,14) \cdot 10^{-11} \text{ m} \\ \lambda_2 &= (5,57 \pm 0,14) \cdot 10^{-11} \text{ m.} \end{aligned}$$

Damit ergibt sich die Compton-Wellenlänge zu

$$\lambda_C = \lambda_2 - \lambda_1 = (3,910 \pm 0,067) \cdot 10^{-12} \text{ m.}$$

## 5 Diskussion

Die Betrachtung des Emissionsspektrums der Kuper Röntgenröhre ergibt die Energielevel der  $K_\alpha$  und  $K_\beta$  Linien in Tabelle 1. Der Vergleich mit den Literaturwerten zeigt, dass diese hier ausreichend genau bestimmt werden konnten.

**Tabelle 1:** Messergebnisse und Literaturwerte der  $K$ -Linien und der Compton-Wellenlänge.

	$K_\alpha / \text{eV}$	$K_\beta / \text{eV}$	$\lambda_C / \text{m}$
Gemessen	8044	8915	$3,910 \cdot 10^{-12}$
Literatur[5][2]	8048	8905	$2,426 \cdot 10^{-12}$

Auch die hier bestimmte Compton-Wellenlänge ist in Tabelle 1 mit entsprechendem Vergleichswert gelistet. Hier lässt sich eine größere Abweichung vom Literaturwert erkennen, auch wenn die Größenordnung übereinstimmt.



Diese Abweichung kann mehrere Ursachen haben. Zum Einen wurden keine Ungenauigkeiten der Messgeräte oder verwendeten Materialien beachtet. Zum Anderen wurden die Messgeräte eventuell nicht ausreichend genug von Strahlung der Umgebung abgeschirmt. Weitere Fehlerquellen sind denkbar.

Eine Messung des Compton Effekts muss mit Röntgenstrahlung statt sichtbarem Licht geschehen, da sichtbares Licht nicht genügend Energie besitzt um die Bindungsenergie des Elektrons in den meisten Materialien überwinden zu können.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 603 Der Compton-Effekt*. 2020.
- [2] NIST Standard Reference Database. *CODATA Internationally recommended 2018 values of the Fundamental Physical Constants*. URL: <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/> (besucht am 04.05.2020).
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [5] NIST Standard Reference Database. *X-Ray Transition Energies Database*. URL: <https://www.nist.gov/pml/x-ray-transition-energies-database> (besucht am 02.05.2020).

## 6 Anhang

**Tabelle 2:** Messergebnisse des Emissionsspektrums mit Winkel  $\alpha$  und Intensität  $N$ 

$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$	$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$	$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$	$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$
8,0	323,0	12,3	376,0	16,6	211,0	20,9	192,0
8,1	316,0	12,4	385,0	16,7	206,0	21,0	188,0
8,2	326,0	12,5	384,0	16,8	205,0	21,1	172,0
8,3	340,0	12,6	382,0	16,9	198,0	21,2	168,0
8,4	335,0	12,7	373,0	17,0	203,0	21,3	169,0
8,5	343,0	12,8	376,0	17,1	199,0	21,4	166,0
8,6	350,0	12,9	373,0	17,2	198,0	21,5	170,0
8,7	350,0	13,0	375,0	17,3	191,0	21,6	174,0
8,8	366,0	13,1	366,0	17,4	192,0	21,7	164,0
8,9	357,0	13,2	354,0	17,5	184,0	21,8	180,0
9,0	371,0	13,3	341,0	17,6	191,0	21,9	179,0
9,1	371,0	13,4	326,0	17,7	188,0	22,0	191,0
9,2	372,0	13,5	318,0	17,8	181,0	22,1	232,0
9,3	364,0	13,6	305,0	17,9	185,0	22,2	300,0
9,4	381,0	13,7	296,0	18,0	184,0	22,3	536,0
9,5	379,0	13,8	286,0	18,1	179,0	22,4	4128,0
9,6	393,0	13,9	285,0	18,2	180,0	22,5	5050,0
9,7	375,0	14,0	274,0	18,3	166,0	22,6	4750,0
9,8	391,0	14,1	264,0	18,4	173,0	22,7	4571,0
9,9	395,0	14,2	266,0	18,5	167,0	22,8	4097,0
10,0	402,0	14,3	270,0	18,6	169,0	22,9	901,0
10,1	405,0	14,4	255,0	18,7	160,0	23,0	244,0
10,2	390,0	14,5	255,0	18,8	159,0	23,1	179,0
10,3	398,0	14,6	260,0	18,9	157,0	23,2	151,0
10,4	400,0	14,7	251,0	19,0	149,0	23,3	145,0
10,5	418,0	14,8	250,0	19,1	153,0	23,4	130,0
10,6	401,0	14,9	248,0	19,2	150,0	23,5	121,0
10,7	410,0	15,0	253,0	19,3	147,0	23,6	126,0
10,8	408,0	15,1	257,0	19,4	150,0	23,7	117,0
10,9	409,0	15,2	248,0	19,5	148,0	23,8	112,0
11,0	414,0	15,3	242,0	19,6	149,0	23,9	110,0
11,1	420,0	15,4	249,0	19,7	143,0	24,0	105,0
11,2	417,0	15,5	246,0	19,8	153,0	24,1	106,0
11,3	417,0	15,6	252,0	19,9	182,0	24,2	107,0
11,4	409,0	15,7	236,0	20,0	291,0	24,3	95,0
11,5	406,0	15,8	234,0	20,1	1127,0	24,4	94,0
11,6	404,0	15,9	231,0	20,2	1599,0	24,5	100,0
11,7	405,0	16,0	215,0	20,3	1533,0	24,6	91,0
11,8	400,0	16,1	217,0	20,4	1430,0	24,7	85,0
11,9	383,0	16,2	227,0	20,5	1267,0	24,8	88,0
12,0	389,0	16,3	214,0	20,6	425,0	24,9	83,0
12,1	382,0	16,4	217,0	20,7	241,0	25,0	85,0
12,2	372,0	16,5	210,0	20,8	225,0		

**Tabelle 3:** Messergebnisse der Transmission durch den Aluminiumabsorber mit Winkel  $\alpha$ , Intensität mit Aluminiumplatte  $N_{\text{Al}}$  und ohne Aluminiumplatte  $N_{\text{Ohne}}$

$\alpha / ^\circ$	$N_{\text{Al}} / \text{Imp/s}$	$N_{\text{Ohne}} / \text{Imp/s}$
7,0	113,5	226,0
7,1	112,0	232,0
7,2	112,0	240,5
7,3	113,5	248,0
7,4	115,0	255,0
7,5	113,5	262,0
7,6	113,0	269,0
7,7	114,5	276,0
7,8	114,0	281,0
7,9	112,0	289,5
8,0	109,5	295,0
8,1	109,0	300,0
8,2	108,0	308,5
8,3	106,0	311,0
8,4	104,5	317,0
8,5	101,5	324,0
8,6	100,0	328,5
8,7	100,5	332,5
8,8	97,5	337,0
8,9	95,0	340,5
9,0	92,5	348,0
9,1	89,5	350,0
9,2	88,0	353,0
9,3	84,5	356,5
9,4	83,0	359,0
9,5	81,0	363,5
9,6	78,5	367,0
9,7	76,0	369,0
9,8	74,0	370,5
9,9	72,0	375,0
10,0	68,5	375,5