

# **V603: Compton-Effekt**

Connor Magnus Böckmann

email: connormagnus.boeckmann@tu-dortmund.de

Tim Theissel

email: tim.theissel@tu-dortmund.de

14. Mai 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Der Compton-Effekt . . . . .	3
2.2	Erzeugung von Roentgenstrahlen . . . . .	4
2.3	Bestimmung der Compton-Wellenlaenge . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Aufbau des Experiments</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Durchfuehrung</b>	<b>5</b>
4.1	Aufnahme des Emissionsspektrums . . . . .	6
4.2	Messung der Transmission . . . . .	6

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll der Compton-Effekt genauer beleuchtet und untersucht werden. Ausserdem wird die Compton-Wellenlaenge  $\lambda_C$  bestimmt.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Der Compton-Effekt

Bei Wechselwirkung eines  $\gamma$ -Quants mit einem Elektron wird die Wellenlaenge des Quants in Richtung von laengeren Wellenlaengen verschoben. Dieser Umstand nennt sich Compton-Effekt. Bei einem inelastischen Stoss zwischen einem  $\gamma$ -Quant und einem Elektron wird das Photon dem Compton-Effekt folgend gestreut. Dabei gibt es einen Teil der eigenen Energie an das getroffene Elektron ab. Der Streuwinkel nennt sich  $\theta$ . Die Wellenlaengenlaengung des Photons ruehrt daher, dass es Energie abgegeben hat, aber nicht langsamer werden kann, da es immer Lichtgeschwindigkeit hat. Somit muss nach  $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$  die Wellenlaenge  $\lambda$  groesser werden.

Der Energie- und Impulserhaltung folgend laesst sich eine Wellenlaengendifferenz  $\Delta\lambda$  zwischen der einfallenden Welle  $\lambda_1$  und der Compton-gestreuten Welle  $\lambda_2$  berechnen:

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

$\theta$  wird dabei ist dabei der Winkel zwischen der urspruenglichen Flugrichtung des Photons und der Ausbreitungsrichtung des gestreuten Photons. Die in diser Formel enthaltene Konstante  $\lambda_C = \frac{h}{m_e c}$  nennt sich Compton-Wellenlaenge. Die Wellenlaengenverschiebung reicht von  $\Delta\lambda = 0$  fuer  $\theta = 0$  bis  $\Delta\lambda = 2\lambda_C$  fuer einen Streuwinkel  $\theta = 180^\circ$ .

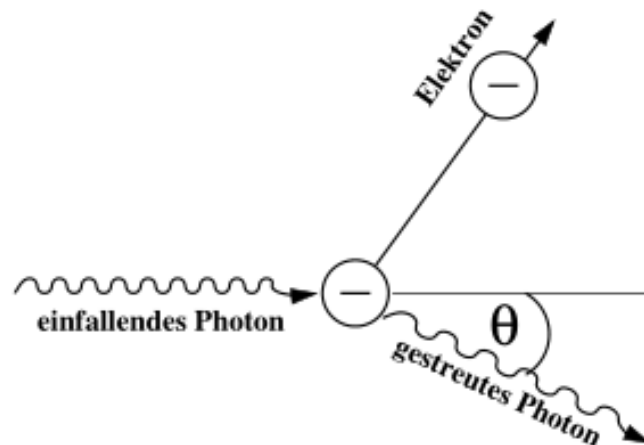


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Compton-Effekt  
Aus: Anleitung V603 Seite 1

## 2.2 Erzeugung von Roentgenstrahlen

Zur Erzeugung von Roentgenstrahlen werden Elektronen mittels des gluhelektrischen Effekts aus einem Draht freigesetzt und mit einer Beschleunigungsspannung beschleunigt und auf eine Anode geschossen. Beim Eintritt in die Anode entsteht Roentgenstrahlung, welche sich aus den charakteristischen Peaks der Roentgenstrahlung und dem kontinuierlichen Spektrum der Bremsstrahlung zusammensetzt.

Das Bremsspektrum entsteht, wie der Name vermuten lässt, beim Abbremsen der Elektronen in der Anode, da beschleunigte Ladungen strahlen, wozu auch das Abbremsen gehört. Diese ausgesendeten Roentgenquanten haben genau die Energie des Energieverlusts des Elektrons. Es handelt sich um ein kontinuierliches Spektrum, da die Energie beim Eintritt in die Anode teilweise oder auch komplett abgegeben werden kann und so die Energie der Roentgenquanten nicht diskret ist.

Die Existenz der charakteristischen Peaks im Spektrum einer Roentgenröhre folgt aus dem Umstand, dass die Elektronen das Anodenmaterial ionisieren und die Elektronen der Anode auf ein höheres Energieniveau heben können. Beim Herabfallen von diesem erhöhten Energieniveau in den Grundzustand wird die Energiedifferenz zwischen den beiden Niveaus als Roentgenquant wieder frei. Es bilden sich diskrete Peaks, da die Energieniveaus ebenfalls diskret sind. Diese Linien sind charakteristisch für das verwendete Anodenmaterial.

## 2.3 Bestimmung der Compton-Wellenlänge

Die Eigenschaften der Transmission und Absorption in Aluminium wird sich hier zu Nutze gemacht zur Bestimmung der Compton-Wellenlänge. Die Transmission einer Welle durch ein Material ist von der Wellenlänge eben jener Welle abhängig. Je länger die Wellenlänge, desto schlechter transmittiert die Welle durch ein Material. Die Compton-gestreute Welle transmittiert also schlechter durch das Aluminium als die Roentgenstrahlen aus der Roentgenröhre. Ein Material der Dicke  $d$  absorbiert dabei die einfallende Intensität  $I_0$  folgendermassen:

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (2)$$

Dieses Gesetz heisst Delambersches Gesetz und enthält den Absorptionskoeffizienten  $\mu$ . Dieser setzt sich aus den Koeffizienten für die Paarbildung  $\mu_{\text{Paar}}$ , den Photoeffekt  $\mu_{\text{Photo}}$  und den Comptoneffekt  $\mu_{\text{Compton}}$  zusammen, also:

$$\mu = \mu_{\text{Paar}} + \mu_{\text{Photo}} + \mu_{\text{Compton}} \quad (3)$$

### 3 Aufbau des Experiments

Der Aufbau des Experiments beinhaltet eine Kupfer-Röntgenröhre, einen LiF-Kristall bzw. Plexiglasstreukoerper und ein Geiger-Mueller-Zählrohr (GMZ). Es empfiehlt sich die Bestimmung des Emissionsspektrums und die Transmission am Rechner aufzunehmen, wohingegen die Bestimmung der Compton-Wellenlaenge von Hand zu empfehlen ist.

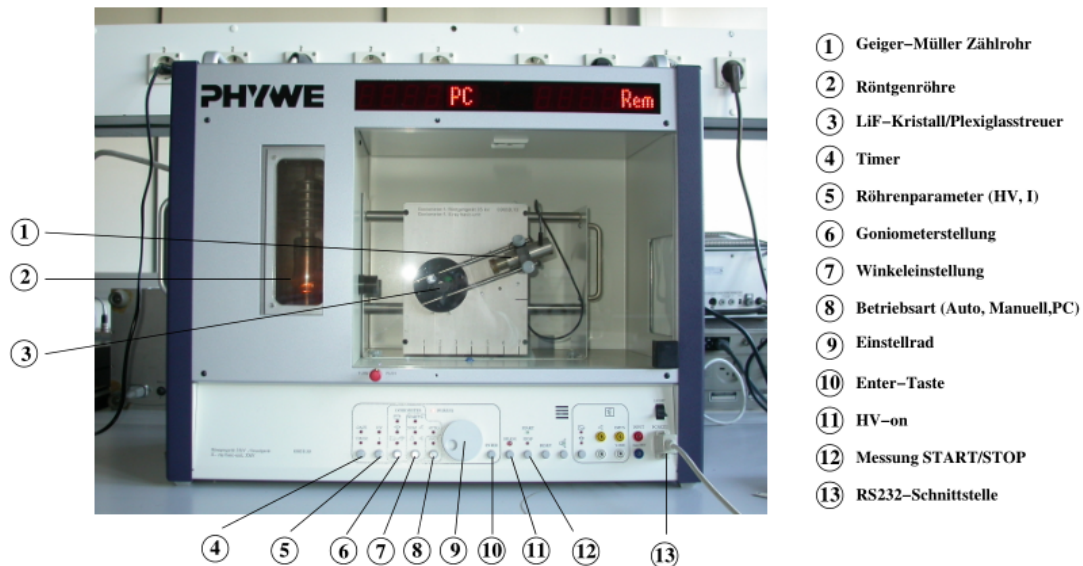


Abbildung 2: Versuchsapparatur des Compton-Effekts  
Aus: Anleitung V603 Seite 3

Wird das Experiment ueber den PC gesteuert, so ist das Programm measure zu benutzen, in welchem unter dem Menuepunkt Messgeraete die Roentgenroehre anzuwaehlen ist. Nun kann also die Messart, der Drehmodus, der anzufahrende Kristallwinkel sowie die Integrationszeit gewaehlt werden und die Messung starten. Bei manuellem Betrieb muss das Geraet auf Manuell umgestellt werden. Die manuellen Einstellungen erfolgen ueber den Einstellknopf 9 und muessen durch Druecken der ENTER-Taste bestaetigt werden. Die Zaehlrate leuchtet in der oberen Anzeigenleiste des Roentgeneraetes auf und kann dort auch abgelesen werden.

## 4 Durchfuehrung

Bei allen Messungen ist die Beschleunigungsspannung der Roentgenroehre auf 35kV bei einem Emissionsstrom von 1mA einzustellen.

### 4.1 Aufnahme des Emissionsspektrums

Fuer diese Messung wird der LiF-Kristall in der Halterung befestigt und eine 2mm-Blende vor der Roentgenroehre angebracht. Nun wird das Roentgenspektrum in 0.2°-Schritten gemessen. Die Messzeit sollte dabei etwa zwischen 5s und 10s betragen.

### 4.2 Messung der Transmission

Nun soll die Transmission des Al-Absorbers bestimmt werden. Dazu wird der Absorber vor die Blende gesetzt und die Zaehlrates  $N_{Al}(\theta)$  mit dem Absorber gemessen. Nun wird die Zaehlrates  $N_0(\theta)$  erneut gemessen, aber ohne den Absorber. Beide Messungen sollen mit einer Messzeit von  $t = 100s$  durchgefuehrt werden. Desweiteren soll diese gemessene Zaehlrates in einem Bereich von 7° bis 10° korregiert werden. Die Totzeit  $\tau$  des Geiger-Zaehlers betraegt  $\tau = 90\mu s$ . Die Intensitaet betraegt dann:

$$I = \frac{N}{1 - (\tau \cdot N)} \quad (4)$$

Daraus folgt die Transmission mit  $T = \frac{I_{Al}}{I_0}$ . Die Intensitaet der Roentgenroehre  $I_0$  wird mit einer 2mm und dem Plexiglasstreuer statt dem LiF-Kristall ermittelt. Dazu wird manuell der Streuer auf 45° und der Geiger-Zaehler auf 90° eingestellt. Nun wird die Transmission  $T_1 = \frac{I_1}{I_0}$  der nicht gestreuten Strahlung gemessen, in dem der Absorber zwischen Streukoerper und Roentgenroehre platziert wird. Ausserdem wird die Transmission  $T_2 = \frac{I_2}{I_0}$  gemessen, wobei der Absorber nun zwischen Streukoerper und Geiger-Mueller-Zaehlrohr platziert wird. Die Messzeit betrage dabei  $t = 300s$ .