

GRUNDPRAKTIKUM I  
1cm VERSUCHSPROTOKOLL

# Gammaspektroskopie

*Clemens Schumann, Tassilo Scheffler*

clemensrubenschumann@googlemail.com,  
tassilo@glief.de

betreut von  
NELE STETZUHN

15.03.2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><u>Einleitung</u></b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><u>Physikalische Grundlagen</u></b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b><u>Geräte</u></b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b><u>Durchführung</u></b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b><u>Aufbau</u></b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b><u>Auswertung</u></b>	<b>6</b>
6.1	Aufgabe 1 . . . . .	6
6.2	Aufgabe 2 . . . . .	6
6.3	Aufgabe 3 . . . . .	6
6.4	Aufgabe 4 . . . . .	6
6.5	Aufgabe 5 . . . . .	6
6.6	Aufgabe 6 . . . . .	7

# 1 Einleitung

In diesen Versuchen wollen wir mithilfe eines Szintillationsdetektors Phänomene des Kernzerfalls betrachten.

## 2 Physikalische Grundlagen

Atomkerne bestehen aus Protonen und Neutronen. Jeder Atomkern ist über die Anzahl dieser definiert. Das heißt jedes Nuklid  $X$  ist mit  ${}^A_ZX$  definiert.  $A$  ist dabei die Massenzahl und  $Z$  die Ordnungszahl. Dabei gilt für Protonen  $p = {}^1_1p$  und für Neutronen  $n = {}^1_0n$ . Diese Kerne können radioaktiv zerfallen, wenn sie instabil sind. Dabei gibt es verschiedene Arten des Zerfalls:

1.  $\alpha$ -Zerfall: Ein doppelt positiv geladener Heliumkern wird emittiert.



2a.  $\beta^+$ -Zerfall: Ein Proton wandelt sich in ein Neutron, ein Positron und ein Neutrino um. Das Positron wird anschließend emittiert.



2b.  $\beta^-$ -Zerfall: Ein Neutron wandelt sich in ein Proton, ein Elektron und ein antineutrino um. Das Elektron wird anschliessend emittiert.



3.  $\gamma$ -Zerfall: Hierbei werden  $\gamma$ -Quanten emittiert. Das heißt, dass sich nur das Energieniveau des Atoms ändert:



Die Energie des  $\gamma$ -Quants kann mit

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (7)$$

berechnet werden.  $h$  ist dabei das Plancksche Wirkungsquantum,  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $\lambda$  die Wellenlänge des  $\gamma$ -quants. Der Strahlungsnachweis erfolgt mithilfe eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Dieses kann  $\beta^-$ -Strahlung und  $\gamma$ -Strahlung messen, indem die Atome des Gases des Zählrohrs durch das Eintreten der radioaktiven Atome ionisiert werden. Dadurch kommt es zu einer Elektronenlawine und schließlich zu einem Stromstoß. Daher kann man mithilfe dessen auch keine zwei exakt aufeinanderfolgende radioaktiven Teilchen messen. Für die Intensität der  $\gamma$ -Strahlung gilt:

$$I = I^0 e^{-\mu x} \quad (8)$$

sobald man annimmt, dass die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit der durchstrahlten Schichtdicke  $dx$  proportional ist und dass ein Strahlungsquant bei der Wechselwirkung mit dem Strahlungsfeld verloren geht.  $\mu$  bezeichnet hier den Absorptionskoeffizienten. Bei konstanter Energie ist  $\frac{\mu}{\rho}$  mit der Dichte  $\rho$  nahezu konstant. Bei der Interaktion mit Materie gibt es 3 wesentliche Effekte, die zutreffen können.

### 1. Der Photoeffekt

Bei diesem Effekt interagiert ein  $\gamma$ -Quant mit einem Atom. Das  $\gamma$ -Quant gibt dabei seine gesamte Energie an ein Elektron ab, welches damit aus dem Atom “geschossen” wird. Dadurch verschwindet das Photon und das Atom hat ein Elektron weniger.

### 2. Der Compton-Effekt

Hierbei interagiert ein  $\gamma$ -Quant mit einem freien Elektron. Da ein Photon ein Teilchen mit einer relativen Masse hat, hat es auch einen Impuls, welcher an das Elektron weitergegeben wird. Somit gibt es ein Energiequant an das Elektron ab. Das Elektron hat damit eine höhere Energie und das Photon eine niedrigere Bewegungsfrequenz.

### 3. Die Paarerzeugung

bei der Paarerzeugung interagiert das  $\gamma$ -Quant mit einem Kern. Wichtig dabei ist, dass sich ein Photon in der Nähe des Coulomb-Feldes eines Atomkerns in ein Elektron und ein Positron umwandeln kann und andersherum. Wenn nun Positron und Elektron aufeinander treffen, so entsteht ein Photon, also ein  $\gamma$ -Quant.

### 3 Geräte

- Szintillationsdetektor mit Sekundärelektronenvervielfacher und Vorverstärker
- Hochspannungs-Netzgerät
- AD-Wandler
- Netzgerät
- PC mit Monitor und Tastatur
- Präparatesatz Co-60, Cs-137, Na-22, Am-241
- 2 Sätze Absorber (Pb, Fe) verschiedener Dicke
- Präparatehalter mit Pb-Abschirmung
- Absorbehälter
- Dosisleistungsmessgerät

### 4 Durchführung

Für Aufgabe 1 misst man mithilfe des Dosisleistungsmessgerätes in der Luft und mit 0.5m Abstand zu dem Co-Präparat.

Bei Aufgabe 2 benötigt man den PC und das Tool “measure” auf diesem. Mithilfe des Netzgerätes und des AD-Wandlers wird dieser dann mit dem Szintillationsdetektor mit den verschiedenen Präparaten darin verbunden. Zwischen Präparat und Detektor sollte möglichst wenig Platz sein. Schließlich startet man eine Messung auf dem PC und wartet 5 min bis der Graph vervollständigt ist. Zu beachten ist, dass Na einen Vernichtungspeak und einen Photopeak hat und Co zwei Photopeaks hat. Von Beim Am-Präparat wird nur der Photopeak von 0.060 MeV betrachtet, da nur dieser über den Graphen ersichtlich ist.

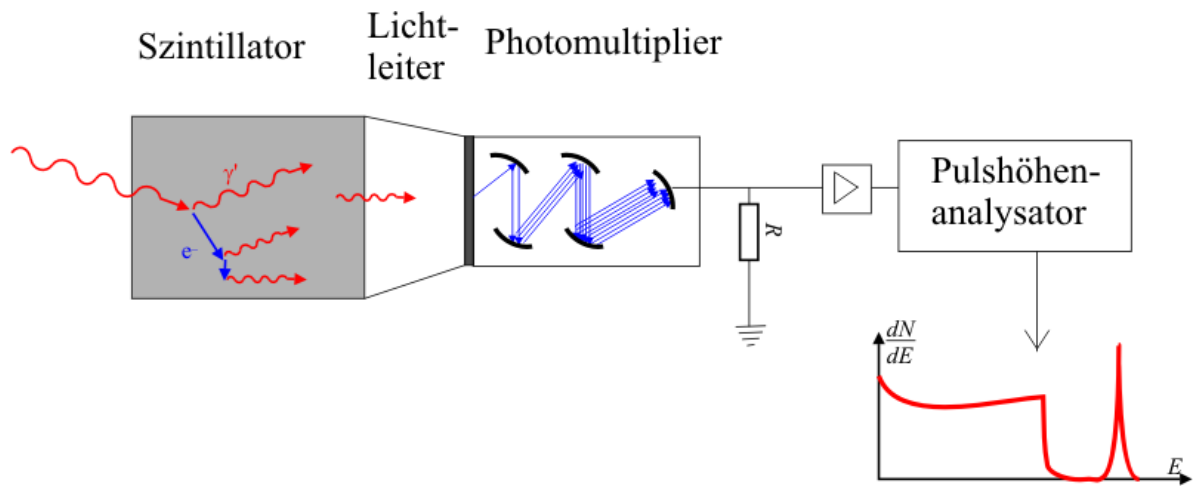
Die Vernichtungsstrahlung von Aufgabe 3 kann bei Natrium betrachtet werden und ausgewertet werden. Dabei ist die Energie  $E = mc^2$  zu beachten.

Aufgabe 4 wird gelöst indem man die Standardabweichung betrachtet und diese umrechnet.

Für Aufgabe 5 ist das Caesium-Präparat zu betrachten. Die Compton Kante ist in dem Graphen recht gut erkennbar. Dabei wird der Mittelwert von Compton Kante und keine Compton Kante genommen. Der Vergleichswert wird der Streuformel entnommen.

Für Aufgabe 6 wird das Absorptionsgesetz genommen und zwischen Cs-Präparat und Detektor Blei bzw. Eisen positioniert. Eisen wird in 5 mm Schritten bis 45 mm dazwischen gemessen und jeweils die Anzahl der Impulse, die in den Kanälen des Peaks ankommen gemessen. Das selbe wird mit Blei in 3 mm Abständen gemacht.

## 5 Aufbau



Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Szintillationsz>

## 6 Auswertung

### 6.1 Aufgabe 1

Gemessene Raumbelastung:  $0.2 \mu\text{Sv/h}$

Gemessene Belastung durch  $^{60}\text{C}$  bei 0.5 m Entfernung:  $0.5 \mu\text{Sv/h}$

Äquivalenzdosis/Jahr = Dosis/h  $\cdot 24 \cdot 365$  = Dosis/h  $\cdot 8.760$

→ Raumbelastung/Jahr =  $1.752 \text{ mSv}$ ,  $^{60}\text{C}$ -Belastung/Jahr =  $4.380 \text{ mSv}$

Somit lägen wir selbst bei ein-Jahr-langer aussetzung noch unter dem Grenzwert, und können daher unbesorgt experimentieren. Da die anderen strahler ( $^{137}\text{Cs}=0.3\mu\text{Sv/h}$ ,  $^{22}\text{Na}=0.4\mu\text{Sv/h}$ ,  $^{241}\text{Am}=0.3\mu\text{Sv/h}$ ) geringer strahlen als  $^{60}\text{C}$  können wir wissen das diese auch unter dem Grenzwert liegen.

### 6.2 Aufgabe 2

Zur Kalibrierung des Spektrometers verwenden wir den Photopeak von  $^{137}\text{Cs}$ , von dem wir aus dem Skript wissen, das sein Energieniveau bei  $662\text{keV}$  liegt. Er liegt in unserer Messung bei Kanalnummer 1922.

$$662\text{keV} \rightarrow 1922 \quad (9)$$

$$\leftrightarrow 0.344\text{keV} \rightarrow 1 \quad (10)$$

Somit wissen wir nun, das der dimensionslose Kanalnummerwert lediglich mit  $0.344\text{keV}$  multipliziert werden muss um das zugehörige Energieniveau herauszufinden.

### 6.3 Aufgabe 3

Der Vernichtungspeak von  $^{22}\text{Na}$  liegt laut unserer Messung bei Kanal 1499. Mit  $0.334\text{keV}$  Multipliziert ergibt dies  $501\text{keV}$ . Laut der Einsteinschen Relation  $E = m_e c^2$  entstehen bei der Vernichtungsstrahlung zwei  $\gamma$ -Quanten von je  $511\text{keV}$ . Wir liegen also mit einer Abweichung von  $10\text{keV}$  erstaunlich genau.

### 6.4 Aufgabe 4

Um die Auflösung des Detektors zu bestimmen, wird die Anzahl  $n_e$  der Elektronen die im Photomultiplier von einem auftreffendem Photon ausgelöst werden bestimmt.  $n_e$  wird über die Energie und die Halbwertsbreite des Photopeaks berechnet (hier von  $^{137}\text{Cs}$ ):

$$n_e = \left( \frac{E}{\Delta E} \right)^2 = \left( \frac{622}{87} \right)^2 \approx 51 \quad (11)$$

### 6.5 Aufgabe 5

Die Compton-Kante liegt bei unserem graphen bei 1400, also  $0.334\text{keV} \cdot 1400 \approx 468\text{keV}$ . Nach der Streuformel ist die Energie T:

$$T = \frac{E_0}{1 + \frac{m_0 c^2}{(1 - \cos \theta) E_0}} \quad (12)$$

Abbildung 1:  $y$ :=Anzahl Impulse,  $x$ :=Eisendicke in 5mm

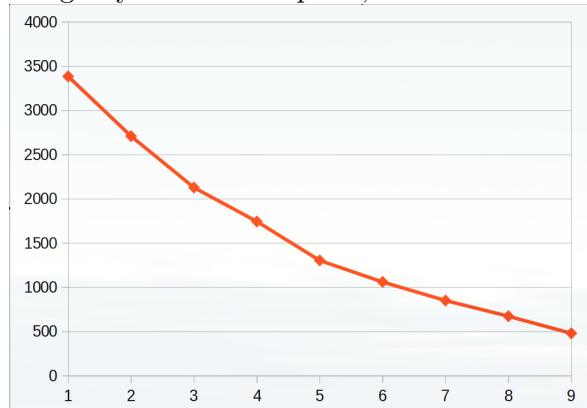
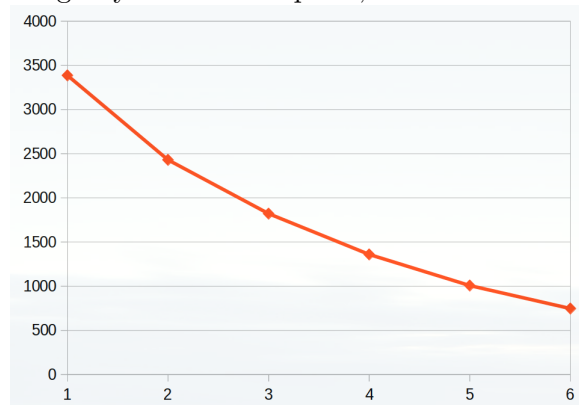


Abbildung 2:  $y$ :=Anzahl Impulse,  $x$ :=Eisendicke in 3mm



## 6.6 Aufgabe 6

In diesem Experiment wurden die Impulse der 662keV- $\gamma$ -Strahlung von  $^{137}\text{Cs}$  gemessen bei unterschiedlich dicken Scheiben aus Blei (in 3 mm Schritten) und Eisen (in 5 mm Schritten). Wie wir aus Abb.1 entnehmen können beträgt die Halbwertsdicke für Eisen  $4 * 5\text{mm} = 20\text{mm}$  und für Blei  $2,8 * 3\text{mm} = 8,4\text{mm}$ . Dies bedeutet, dass sich die Strahlung alle 20 mm respektive alle 8,4 mm halbiert.