



Fortgeschrittenen-Praktikum I:

Szintillationszähler

Saskia Bondza

Simon Stephan

durchgeführt am 12.10.2016 und 13.10.16

Abstract

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen	2
2.1	Zerfallsgesetz	2
2.2	Radioaktive Zerfälle	2
2.2.1	α -Zerfall	2
2.2.2	β -Zerfall	2
2.2.3	Elektroneneinfang	3
2.2.4	γ -Zerfall	3
2.2.5	Innere Konversion	3
2.3	Prozesse in der Atomhülle	3
2.4	Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie	4
2.4.1	Photo-Effekt	4
2.4.2	Compton-Effekt	4
2.4.3	Paarbildung und Paarvernichtung	5
2.5	Zerfallsreihen der verwendeten Präparate	5
2.5.1	Natrium ^{22}Na	5
2.5.2	Cobalt ^{60}Co	5
2.5.3	Europium ^{152}Eu	6
2.5.4	Thorium ^{228}Th	6
2.6	Szintillationszähler	6
2.7	Gerätebeschreibung	7
3	Versuchsaufbau und -Durchführung	8
4	Auswertung	8
5	Zusammenfassung und Diskussion	9
6	Anhang	10
6.1	Laborheft	10

1 Einleitung

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Zerfallsgesetz

Der radioaktive Zerfall ist ein statistischer Prozess, d.h. der genaue Zeitpunkt, zu dem ein Kern zerfällt, kann nicht vorhergesagt werden. Wir können nur Wahrscheinlichkeiten angeben. Die Zerfallsrate dN/dt ist abhängig von der momentanen Anzahl N der Atome.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

wobei λ die Zerfallskonstante ist, welche den Bruchteil der zu Beginn vorhandenen Kerne, die pro Zeiteinheit zerfallen beschreibt. Zerfallskonstanten einzelner Zerfälle addieren sich, zerfällt ein Kern auf mehrere Arten. Durch Lösen dieser Differentialgleichung erhält man die Anzahl der Kerne N zum Zeitpunkt t .

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

wobei $N_0 = N(t = 0)$ die anfängliche Anzahl der Kerne beschreibt. Hieraus lässt sich dann die mittlere Lebensdauer τ bestimmen:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

welche mit der Halbwertszeit $T_{1/2}$ wie folgt zusammenhängt:

$$T_{1/2} = \ln 2 \cdot \tau = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

2.2 Radioaktive Zerfälle

Instabile Atomkerne gehen, je nach Art des Zerfalls, unter Aussendung von ionisierender Strahlung und Aussendung von Teilchen spontan in einen anderen Atomkern über. Im Folgenden werden die verschiedenen Arten radioaktiver Zerfälle erläutert.

2.2.1 α -Zerfall

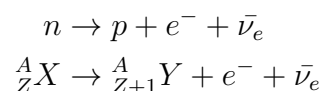
Beim α -Zerfall geht ein schwerer, instabiler Kern unter Aussendung eines α -Teilchens, einem Heliumkern (zwei Protonen und zwei Neutronen) in einen stabilen Kern über. Die Massenzahl des neuen Atomkerns ist dabei um vier gesunken, die Ordnungszahl verringert sich um zwei.



2.2.2 β -Zerfall

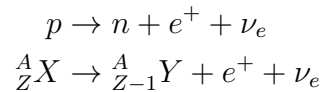
Der β -Zerfall wird durch verschiedene Prozesse der schwachen Wechselwirkung beschrieben bei denen Elektronen und Positronen auftreten. Bei diesem Vorgang wird durch W-Boson-Austausch ein Proton in ein Neutron umgewandelt bzw. ein Neutron in ein Proton.

β^- -Zerfall: Bei dieser Art des Zerfalls wandelt sich ein Neutron im Kern unter Aussendung eines Elektrons und eines Elektron-Antineutrinos in ein Proton um.



Hierbei entspricht X dem Mutternuklid und Y dem Tochternuklid. Die Ordnungszahl erhöht sich bei diesem Vorgang um eine Einheit, die Massenzahl ändert sich nicht.

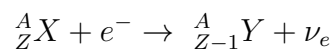
β^+ -Zerfall: Der β^+ -Zerfall ist dem β^- -Zerfall sehr ähnlich, Hier wandelt sich ein Proton im Kern unter Aussendung eines Positrons und eines Elektron-Neutrinos in ein Neutron um.



Bei diesem Prozess sinkt die Kernladungszahl um eine Einheit während die Massenzahl wie auch beim β^- -Zerfall unverändert bleibt.

2.2.3 Elektroneneinfang

Die meisten schweren, instabilen Kerne mit Protonenüberschuss wandeln sich durch Elektroneneinfang in stabile Kerne um. Der Elektroneneinfang führt effektiv im Kern zum gleichen Resultat wie der β^+ -Zerfall, d.h. die Ordnungszahl verringert sich um eine Einheit, die Massenzahl bleibt unverändert. Meist wird aus der Kern-nächsten Schale, der K-Schale, ein Bahnelektron unter Aussendung eines Neutrinos eingefangen. Die Lücke, die hierbei entsteht, wird meist durch ein aus der L-Schale stammendes Elektron unter Emission von Röntgenstrahlung oder Auger-Elektronen (siehe 2.3) gefüllt. Dieser Vorgang wiederholt sich mit den weiter außen liegenden Schalen.



2.2.4 γ -Zerfall

Der γ -Zerfall ist oft eine Begleiterscheinung der bereits diskutierten Kernzerfälle: Befindet sich das Tochternuklid nach dem Zerfall in einem angeregten Zustand, geht es über Aussendung eines γ -Quants (Photon) in einen energetisch niedrigeren Zustand über. Die Energie dieser Photonen liegt dabei im Bereich von keV bis MeV. In Materie fällt die Intensität I_d der γ -Strahlung exponentiell mit der Strecke d ab:

$$I_d = e^{\mu d}$$

Dabei ist μ der Absorptionskoeffizient des Materials und I_0 die Anfangsintensität.

2.2.5 Innere Konversion

Konkurrierend zum γ -Zerfall gibt es auch die Innere Konversion. Bei dieser gehen angeregte Kernzustände strahlungslos in den Grundzustand über, wobei die Energie an ein Elektron übertragen und dieses abgestrahlt wird. Die so entstandene Lücke in der Atomhülle wird dann unter Emission von Röntgenstrahlung oder Auger-Elektronen (siehe 2.3) gefüllt.

2.3 Prozesse in der Atomhülle

Bei manchen Zerfallsprozessen entsteht in der Atomhülle durch Emission eines Elektrons ein Loch. Dieses Loch wird gefüllt, indem ein Elektron einer höheren Schale in die Schale des Loches wechselt und dabei Energie freigibt. Diese Energie kann entweder über direkte Emission eines Photons (Röntgenstrahlung) oder über die Emission eines anderen Elektrons (Auger-Elektron) abgegeben werden. Dadurch entstehen ein oder zwei neue Lücken, welche wiederum über die weitere Emission von Röntgenstrahlung oder eines Auger-Elektrons geschlossen werden können.

2.4 Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie

Um γ -Strahlung detektieren zu können, muss die γ -Strahlung mit Materie wechselwirken. Wir unterscheiden dabei grundsätzlich drei Prozesse: Den Photoeffekt, den Compton-Effekt und die Paarbildung.

2.4.1 Photo-Effekt

Beim Photoeffekt dringt ein Photon in das Atom ein und überträgt seine gesamte Energie an ein Elektron der inneren Schalen. Dabei wird Energie auf dieses Elektron übertragen, es wird aus der Atomhülle befreit und erhält kinetische Energie. Die hier entstandene Lücke wird über Abstrahlung eines γ -Quants oder eines Auger-Elektrons wieder gefüllt. Der Photoeffekt findet typischerweise bei Energien bis zu 200 keV statt.

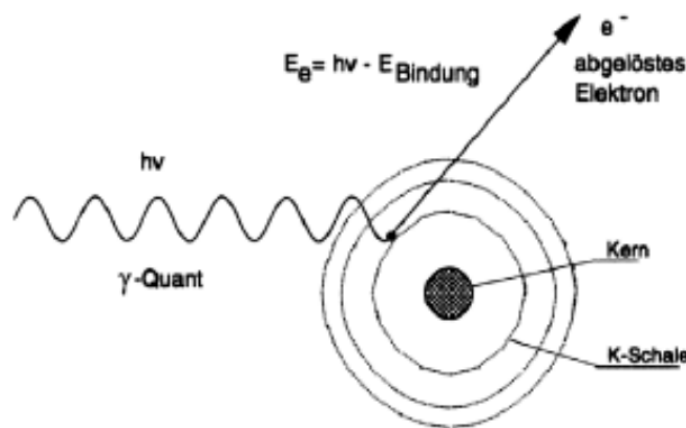


Abbildung 1: Äußerer Photoeffekt.

2.4.2 Compton-Effekt

Beim Compton-Effekt trifft ein einfallendes γ -Quant auf ein freies oder nur leicht gebundenes Elektron und überträgt einen Teil seiner Energie auf dieses. Dieser Prozess findet meist bei Energien zwischen 200 keV und 5 MeV statt.

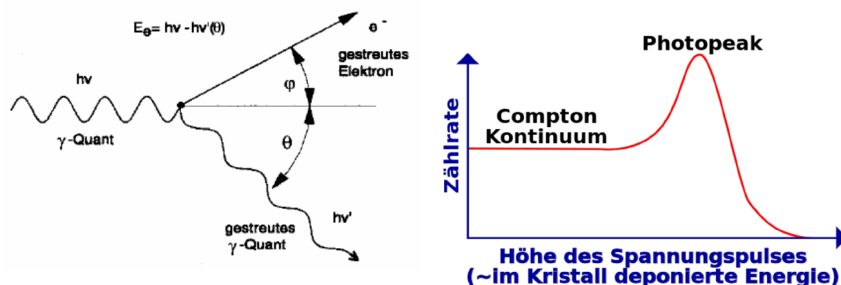


Abbildung 2: links: In dieser Darstellung kann man ein Photon sehen, das mittels Comptoneffekt an einem Elektron gestreut wird und dabei Energie verliert, da es nach dem Stoß langwelliger ist. rechts: Dieser Graph skizziert den erwarteten Verlauf im Energiespektrum einer einzelnen Photonenenergie durch Compton- und Photoeffekt. Die Wölbung des Comptonplateaus ist nicht zu sehen.

2.4.3 Paarbildung und Paarvernichtung

Bei der Paarbildung entsteht durch die Wechselwirkung des γ -Quants mit dem elektromagnetischen Feld des Atomkerns oder eines Elektrons ein Teilchen-Antiteilchen-Paar, z.B. Elektronen-Positronen-Paar. Paarbildung ist für Energien über 1,022 MeV möglich. Die über diesen Grenzwert hinausgehende Energie wird auf die entstandenen Teilchen übertragen, der Impuls wird vom Kern aufgenommen. Da das Positron nicht lange alleine existieren kann, vereinigt es sich unter Abstrahlung von zwei γ -Quanten mit einem Elektron.

2.5 Zerfallsreihen der verwendeten Präparate

Das Produkt eines radioaktiven Zerfalls kann instabil sein und ebenfalls zerfallen. Diese Abfolge von Zerfällen wird Zerfallsreihe genannt. Nachfolgend werden die Zerfallsreihen der verwendeten radioaktiven Isotope und die sich hieraus ergebenden erwarteten Peaks im Spektrum erläutert.

2.5.1 Natrium ^{22}Na

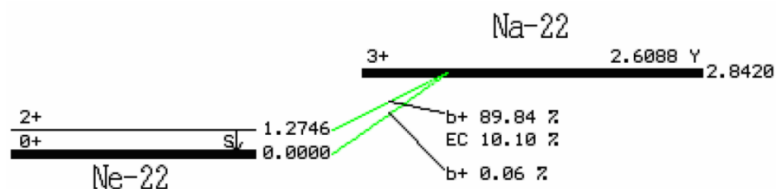


Abbildung 3: Zerfallsreihe von ^{22}Na

2.5.2 Cobalt ^{60}Co

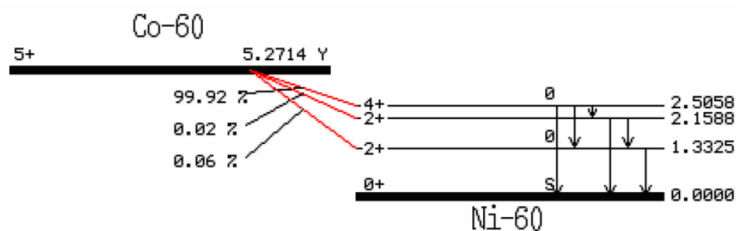
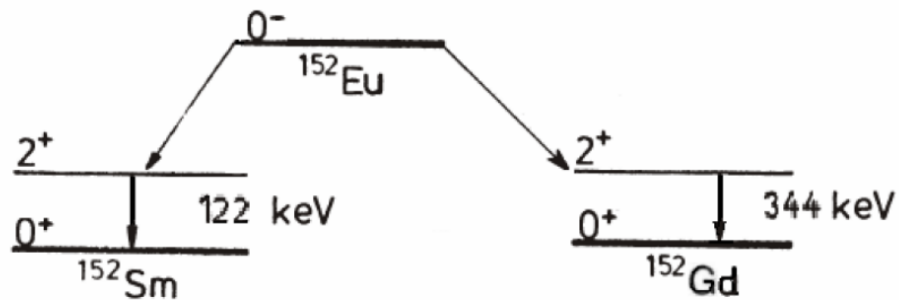
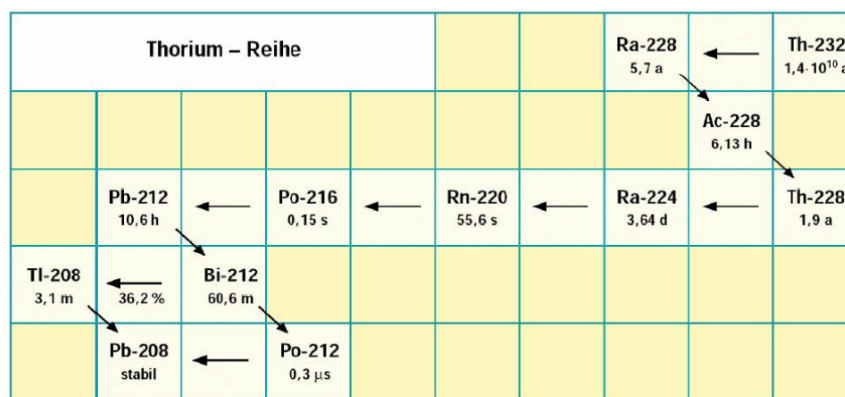


Abbildung 4: Zerfallsreihe von ^{60}Co

2.5.3 Europium ^{152}Eu Abbildung 5: Zerfallsreihe von ^{152}Eu 2.5.4 Thorium ^{228}Th Abbildung 6: Zerfallsreihe von ^{228}Th

2.6 Szintillationszähler

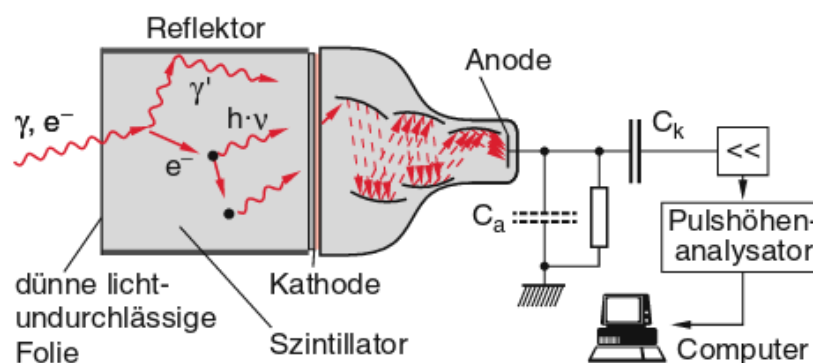


Abbildung 7: Funktionsweise eines Szintillationszähler [5]

2.7 Gerätebeschreibung

3 Versuchsaufbau und -Durchführung

4 Auswertung

5 Zusammenfassung und Diskussion

6 Anhang

6.1 Laborheft

Abbildungsverzeichnis

1	Äußerer Photoeffekt.	4
2	links: In dieser Darstellung kann man ein Photon sehen, das mittels Comptoneffekt an einem Elektron gestreut wird und dabei Energie verliert, da es nach dem Stoß langwelliger ist. rechts: Dieser Graph skizziert den erwarteten Verlauf im Energiespektrum einer einzelnen Photonenenergie durch Compton- und Photoeffekt. Die Wölbung des Comptonplateaus ist nicht zu sehen.	4
3	Zerfallsreihe von ^{22}Na	5
4	Zerfallsreihe von ^{60}Co	5
5	Zerfallsreihe von ^{152}Eu	6
6	Zerfallsreihe von ^{228}Th	6
7	Funktionsweise eines Szintillationszähler [5]	6

Literatur

- [1] M. Köhli, *Versuchsanleitung: Szintillationszähler*, Institut für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-universität, 2011
- [2] Tobias Kotyk, *Versuche zur Radioaktivität im Physikalischen Fortgeschrittenen Praktikum an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*, Institut für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-universität, 2011
- [3] Dirk Hünninger, Kieran Maher, uvm., *Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin*, Wikibooks.org, 2012
- [4] *Praktikum im DESY Zeuthen* https://www-zeuthen.desy.de/exps/physik_begreifen/chris/Photomultiplier.html, Stand: 27.09.15
- [5] Wolfgang Demtröder *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen-, und Astrophysik*, Springer-Verlag, 4. Auflage, 2014