



# Fortgeschrittenen-Praktikum II:

## Mößbauer-Effekt

Saskia Bondza

Simon Stephan

durchgeführt vom 20.02.2017 bis 24.02.2017

---

# Abstract

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Wechselwirkung von Photonen mit Materie . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Zerfallsschema von Cobalt</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Lebensdauer und Linienbreite</b>	<b>3</b>
4.1	Dopplerverbreiterung . . . . .	3
<b>5</b>	<b>Resonanzabsorption</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Gittermodelle</b>	<b>4</b>
6.1	Einsteinmodell . . . . .	4
6.2	Debyemodell . . . . .	4
<b>7</b>	<b>title</b>	<b>4</b>
7.1	Isomerieverschiebung . . . . .	4
7.2	Hyperfeinstrukturaufspaltung . . . . .	4
<b>8</b>	<b>Verwendete Geräte</b>	<b>4</b>
<b>9</b>	<b>Versuchsaufbau und -Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>10</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>12</b>	<b>Anhang</b>	<b>8</b>
	<b>Literatur</b>	<b>11</b>

# 1 Einleitung

Der Mößbauereffekt beschreibt die rückstoßfreie Resonanzabsorption von Kernzuständen. Da bei diesem Prozess die Energieverluste eliminiert werden, die bisher häufig ein Hindernis darstellten und zugleich eine sehr hohe Auflösung und Genauigkeit erreicht werden konnte, bietet diese Entdeckung zahlreiche Anwendungen. Ein klassisches Beispiel ist hier die Spektroskopie. Es konnte mit Hilfe des Mößbauereffekts aber auch die Energieverschiebung von Photonen im Gravitationsfeld der Erde  $\frac{\Delta E}{E} = 10^{-16}$  pro Meter nachgewiesen werden, die von der Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt wird. Sogenannte "MIMOS" (winzige Mößbauer-Spektrometer) werden in Marssonden zur Analyse von Marsgestein verwendet. Für die Entdeckung des nach ihm benannten Mößbauereffekts wurde Rudolf Mößbauer im Jahr 1961 der Nobelpreis verliehen.

In diesem Versuch sollen Absorptionslinien im 1-Linien-Absorber Edelstahl und im 6-Linien-Absorber Eisen gemessen werden und deren Lebensdauer bestimmt werden.  $^{57}\text{Fe}$  weist eine sehr schmale Linie bei einer Energie von 14,4 keV auf. Zur Messung dieses Übergangs wird der Absorber auf einem beweglichen Schlitten, der sich mit Geschwindigkeiten im Bereich von wenigen mm/s bewegt, von einer  $^{57}\text{Co}$  Probe bestrahlt, in der durch den Zerfall von Cobalt in einen angeregten Zustand von  $^{57}\text{Fe}$ , der wiederum in den Grundzustand zerfällt, ein Photon der Energie 14,4 keV abgestrahlt wird. Ein Detektor bestehend aus Szintillator und Photomultiplier hinter dem Absorber nimmt die Zählrate in Abhängigkeit der Geschwindigkeit auf. Im so entstehenden Spektrum erwarten wir den typischen Mößbauerpeak zu sehen, aus dem die Lebensdauer des angeregten Zustands bestimmt werden kann sowie aus der Verschiebung zur theoretischen Resonanzfrequenz die Isomerieverschiebung. Für Natureisen kann aus der Hyperfein-Aufspaltung, die Grund für die sechs Absorptionslinien ist, das magnetische Feld bestimmt werden. Außerdem werden verschiedene Messungen zur Bestimmung des Untergrunds durchgeführt. Der in diesem Versuch untersuchte Übergang wurde bereits im Versuch Kurze Halbwertszeiten mit der Methode der verzögerten Koinzidenzen gemessen.

## 2 Theoretische Grundlagen

[1]

### 2.1 Wechselwirkung von Photonen mit Materie

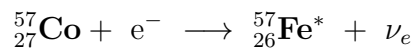
Um  $\gamma$ -Strahlung detektieren zu können, muss die  $\gamma$ -Strahlung mit Materie wechselwirken. Wir unterscheiden dabei grundsätzlich drei Prozesse: Den Photoeffekt, den Compton-Effekt und die Paarbildung. In Materie klingt die Intensität von  $\gamma$ -Strahlung exponentiell ab:

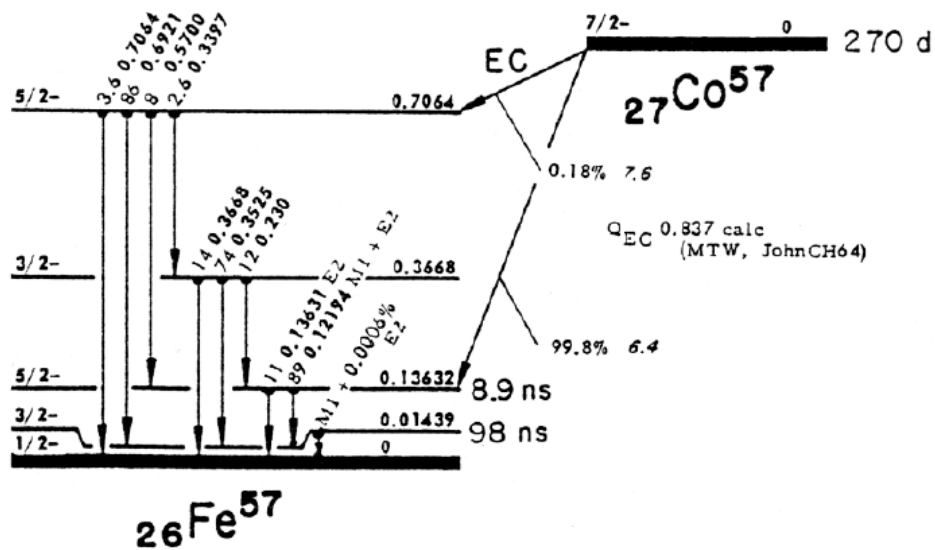
$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad \text{mit } \mu = \mu_{photo} + \mu_{Compton} + \mu_{Paar} \quad (1)$$

- **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  $\gamma$ -Quants oder eines Elektrons wieder gefüllt.
- **Compton-Effekt** Beim Compton-Effekt trifft ein einfallendes  $\gamma$ -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.
- **Paarbildung und Paarvernichtung** Bei der Paarbildung entsteht durch die Wechselwirkung des  $\gamma$ -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  $\gamma$ -Quanten mit einer Energie von je 511 keV mit einem Elektron.

## 3 Zerfallsschema von Cobalt

Das in diesem Versuch verwendete  $^{57}\text{Co}$  zerfällt mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,8% und einer Halbwertszeit von 270 Tagen über Elektroneneinfang in einen angeregten Zustand von  $^{57}\text{Fe}^*$  (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Zerfallsschema von  $^{57}\text{Co}$ 

Der angeregte Zustand geht unter anderem über die Aussendung eines Photons mit einer Energie von 14,4 keV mit einer Halbwertszeit von 98 ns in den Grundzustand über.

## 4 Lebensdauer und Linienbreite

Die mittlere Lebensdauer ist über den Erwartungswert der Zeit definiert, die ein Zustand existiert. Es ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\tau := \langle t \rangle = \int_0^\infty t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Grund dafür, dass Spektrallinien eine natürliche Breite haben und nicht als Delta-Distribution auftreten, ist die Heisenbergsche Unschärferelation

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (3)$$

Die natürliche Zerfallsbreite weist ein Breit-Wiegner Profil auf. Man erhält damit folgenden Zusammenhang zwischen Zerfallsbreite und Lebensdauer:

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$$

Die Lebensdauer des in diesem Versuch untersuchten 14,4 keV Übergangs beträgt  $\tau = 1,4 \cdot 10^{-7}$  s. Es folgt also eine natürliche Zerfallsbreite von  $\Gamma = 4,7 \cdot 10^{-9}$ . Es handelt sich also um einen sehr scharfe Linie mit einer relativen Breite von  $\frac{\Gamma}{E_\gamma} = 3 \cdot 10^{-13}$ .

### 4.1 Dopplerverbreiterung

Aus der thermischen Bewegung der Kerne folgt eine Dopplerverbreiterung der Linienbreite in beide Richtungen, der ein Gauß-Profil zu Grunde liegt. Diese ist wie folgt gegeben.

$$\Gamma_{Dop} = 2\sqrt{\ln 2} \cdot E_\gamma \cdot \sqrt{\frac{2kT}{Mc^2}} \quad (4)$$

## 5 Resonanzabsorption

## 6 Gittermodelle

### 6.1 Einsteinmodell

### 6.2 Debyemodell

## 7 title

### 7.1 Isomerieverschiebung

### 7.2 Hyperfeinstrukturaufspaltung

## 8 Verwendete Geräte

## 9 Versuchsaufbau und -Durchführung



## 10 Auswertung

## 11 Zusammenfassung und Diskussion

## 12 Anhang

## Abbildungsverzeichnis

1	Zerfallsschema von $^{57}\text{Co}$ . . . . .	3
---	---	---

## Tabellenverzeichnis

## Literatur

- [1] A. Zwerger, S. Winkelmann, M. Köhli.  
*Versuchsanleitung Fortgeschrittenen-Praktikum Teil I - Der Mößbauer-Effekt.* 2012.