

## Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene

Heinrich-Buff-Ring 16, Raum 307

### Mößbauer-Spektroskopie

Letzte Änderung: 13. September 2023

In diesem Versuch werden die Grundlagen des Mößbauereffekts und der Mößbauerspektroskopie erarbeitet. Durch Anwendung des Mößbauereffekts werden natürliche Linienbreite und Lebensdauer des ersten angeregten Niveaus von  $^{57}\text{Fe}$  vermessen. Weiterhin wird demonstriert, dass die Mößbauerspektroskopie sensitiv ist auf die Verschiebung nuklearer Energieniveaus, die durch äußere Felder oder die chemische Umgebung der Atomkerne hervorgerufen wird. Anhand der Mößbauerspektroskopie einer magnetischen Eisenprobe wird das magnetische Moment von  $^{57}\text{Fe}$  sowie das Magnetfeld am Kernort bestimmt. Bei  $\text{FeSO}_4$  wird die elektrische Quadrupolaufspaltung der Mößbauerlinie von  $^{57}\text{Fe}$  gemessen.

## 1 Literatur

- H. Wegener, Der Mößbauereffekt, Seiten 1–22, 64–100.
- N. J. Stone, Table of nuclear magnetic dipole and electric quadrupole moments, *At. Data. Nuc. Data Tab.* **90** (2005) 75–176, <http://dx.doi.org/10.1016/j.adt.2005.04.001>.
- Handbücher der verwendeten elektronischen Geräte.

## 2 Fragen

- Was versteht man unter dem Mößbauereffekt? Wie lässt er sich erklären?
- Wie kann man den Mößbauereffekt nachweisen?
- Was ist der Debye-Waller-Faktor?
- Welche Kerne sind für die Beobachtung des Mößbauereffekts geeignet?
- Was ist eine Isomerie-Verschiebung?
- Was ist die magnetische Hyperfeinstrukturaufspaltung?
- Was ist die elektrische Quadrupolaufspaltung?
- Welche Anwendungen des Mößbauereffektes gibt es?

## 3 Versuchsdurchführung

### 3.1 Geräteliste

- $^{57}\text{Co}$ -Einlinien-Mößbauerquelle mit Bleiabschirmung und elektromagnetischem Antriebsmechanismus (Lautsprecher),
- F. u. H. Mößbauer-Elektronik, enthaltend: Oszillator, Differenzverstärker, Modulator,
- NaJ-Szintillationszähler mit dünnem NaJ-Kristall,
- Verstärker FH V550 (FHN 2006 A) und Ortec 410,
- Diskriminator (Timing SCA) Ortec 420A,
- Mößbauer-Interface,
- ADC Silena 7411,
- 1 PC mit Zähler- und I/O-Karte sowie mit Datenaufnahmesoftware „MCA“.
- Eisenabsorber (magnetisch),
- Stahlabsorber (unmagnetisch),
- $\text{FeSO}_4$  (Eisensulfat).
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -Absorber (Eisensulfat mit Kristallwasser).

### 3.2 Präparat

Als Mößbauerquelle wird ein  $^{57}\text{Co}$ -Präparat (fest eingebaut in einer Bleiabschirmung) verwendet mit einer Mößbauerlinie bei 14,4 keV.  $^{57}\text{Co}$  hat eine Halbwertszeit von 272 Tagen. Ältere Präparate können daher so schwach sein, dass längere Messzeiten (über Nacht) erforderlich sind.

### 3.3 Einstellung der Elektronik

Der Versuch ist in etwa so aufgebaut wie auf Seite 83 des Buches von Wegener beschrieben. Die Elektronik sollte bereits am Vortag des Versuchs vom Betreuer eingeschaltet worden sein, damit sie stabil steht.

#### 3.3.1 Energiespektrum

Nehmen Sie zunächst mit dem MCA-Messprogramm (Experiment: MCA, Silena ADC, 2048 Kanäle) ein  $^{57}\text{Co}$ - $\gamma$ -Energiespektrum auf. Stellen Sie die Verstärkung am FH-V550-Verstärker (FHN 2006A) so ein, dass die 14,4-keV-Mößbauerlinie ungefähr in Kanal 250 auftaucht.

Beachten Sie dabei, dass neue  $^{57}\text{Co}$  Präparate so stark (10 mCi) sind, dass sie den apparativen Zweig zur Messung eines Energiespektrums ohne zusätzlichen Kollimator völlig übersteuern. Zwei Blei-Kollimatoren mit 2- bzw. 4,5-mm-Bohrung können an Stelle der Absorber in die „Mößbauer-Schublade“ eingebracht werden. Zur Unterdrückung der starken Fe-Röntgenlinie kann die 27-mg/cm<sup>2</sup>-Al-Folie über den Kollimator gelegt werden.

### 3.3.2 Einstellung des Diskriminators

Stellen Sie jetzt mittels des Diskriminators ein Energiefenster auf die 14,4-keV-Mößbauerlinie ein. Stellen Sie dazu am Silena-7411-ADC den Schalter DELAYED ANTIC./COINC. auf COINC. Der Schalter befindet sich seitlich rechts in ca. 1/3 Höhe. Verbinden sie den positiven Ausgang des Diskriminators mit dem DELAYED-COINC.-Eingang des ADCs. Das Delay des Diskriminators muss so eingestellt sein, dass die Signale vom FH-V550-Verstärker und vom Diskriminator in etwa gleichzeitig am ADC eintreffen. Dies kann ggf. mit einem Oszilloskop überprüft werden. Bei Schalterstellung COINC. am ADC werden jetzt nur noch die Pulse im Spektrum angezeigt, die im Diskriminatorfenster liegen. Dieses ist so einzustellen, dass nur die 14,4-keV-Mößbauerlinie durchgelassen wird.

### 3.4 Messungen an verschiedenen Absorbern

Für die Messung der Mößbauerspektren muss der positive Ausgang des Diskriminators mit „pulse counter“-Eingang des Mößbauer-Interfaces verbunden werden. Die vom Diskriminator durchgelassene Zählrate wird nun als Funktion der Quellengeschwindigkeit gemessen.

Verschiedene Absorber können in die „Mößbauer-Schublade“ eingelegt werden. Vorsicht beim Herausziehen der Schublade! Sie lässt sich ganz herausziehen und kracht dann auf den Tisch. Im Einzelnen sind mit dem MCA-Messprogramm (Experiment: MOESSBAUER) die folgenden Absorptionsspektren aufzunehmen:

1. Absorptionsspektrum des Stahlabsorbers mit  $v_{\max}^{(\text{nom})} = 20$  SKT.
2. Absorptionsspektrum des Eisenabsorbers mit  $v_{\max}^{(\text{nom})} = 80$  SKT.
3. Absorptionsspektrum des  $\text{FeSO}_4$ -Absorbers mit  $v_{\max}^{(\text{nom})} = 40$  SKT.
4. Absorptionsspektrum des  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -Absorbers mit  $v_{\max}^{(\text{nom})} = 40$  SKT.

Hierbei ist  $v_{\max}^{(\text{nom})}$  der nominelle Wert der maximalen Quellengeschwindigkeit in Skalenteilen (SKT, am Potentiometer abzulesen). Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit der Quelle und abgelesener Geschwindigkeit am Potentiometer ist linear, d.h.

$$v_{\max} = a + b \cdot v_{\max}^{(\text{nom})} \quad (1)$$

Die Kalibrationskonstanten wurden am 07.04.2016 vom Betreuer bestimmt zu  $a = 1.21 \pm 0.02$  mm/s und  $b = 0.0911 \pm 0.0004$  mm/s/SKT. Verwenden Sie diese Kalibrierung in Ihrer Datenauswertung.

## 4 Auswertung

Erklären Sie mit eigenen Worten knapp den Mößbauereffekt und erläutern Sie, wozu er verwendet werden kann.

Erläutern Sie, wodurch Verschiebungen, Hyperfeinaufspaltung und Quadrupolaufspaltung von Mößbauer-Absorptionslinien verursacht werden, und geben Sie die entsprechenden Literaturwerte für Fe,  $\text{FeSO}_4$ , bzw.  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  an.

Skizzieren Sie den Versuchsaufbau als Blockschaltbild und beschreiben Sie die Funktion der einzelnen Module.

## 4.1 Gammaspektrum

Interpretieren Sie das  $^{57}\text{Co}$ - $\gamma$ -Energiespektrum, indem sie die einzelnen Linien den im  $^{57}\text{Co}$ -Niveauschema (im Anhang) skizzierten Übergängen zuordnen.

## 4.2 Auswertung der Mößbauerspektren

Rechnen Sie die Kanalzahlen der gemessenen Mößbauerspektren in Energieverschiebungen (Dopplereffekt) um. Bestimmen sie Position, Breite und Stärke jeder gemessenen Linie durch numerische Anpassung von Lorentz-Profilen. Dazu kann u.a. das MCA-Programm verwendet werden. Fassen Sie die Ergebnisse für jedes Mößbauerspektrum tabellarisch zusammen.

## 4.3 Natürliche Linienbreite

Bestimmen Sie die natürliche Linienbreite des Übergangs vom  $^{57}\text{Fe}$  14,4-keV-Niveaus von mittels des unmagnetischen Stahlabsorbers. Beachten Sie, dass sowohl Emittter als auch Absorber jeweils eine natürliche Linienbreite besitzen.

## 4.4 Isomerieverschiebungen

Geben Sie für alle verwendeten Proben die jeweilige Isomerie-Verschiebung an.

## 4.5 Magnetisches Moment des 14,4 eV Zustands von $^{57}\text{Fe}$

Ordnen Sie die mit dem magnetischen Eisenabsorber gemessenen Absorptionslinien den  $^{57}\text{Fe}$ -Hyperfeinstruktur-niveaus zu. Berechnen Sie aus der gemessenen Hyperfeinaufspaltung das magnetische Moment  $\mu_a$  des 14,4-keV-Niveaus von  $^{57}\text{Fe}$ . Das magnetische Moment des Grundzustands beträgt  $\mu_g = 0,0907\mu_k$  (Stone, S. 89). Vergleichen Sie Ihr Ergebnis für  $\mu_a$  mit dem Literaturwert.

## 4.6 Quadrupolaufspaltung

Bestimmen Sie die elektrische Quadrupolaufspaltung des 14,4-keV-Niveaus von  $^{57}\text{Fe}$  in  $\text{FeSO}_4$  und in  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  aus den entsprechenden Mößbauerspektren. Vergleichen Sie mit den Literaturwerten (soweit vorhanden). Verwenden Sie das aus der Literatur bekannte Kernquadrupolmoment von  $^{57}\text{Fe}$  (Stone, S. 89) zur Bestimmung des jeweiligen elektrischen Feldgradienten am Kernort.

# A Niveauschema

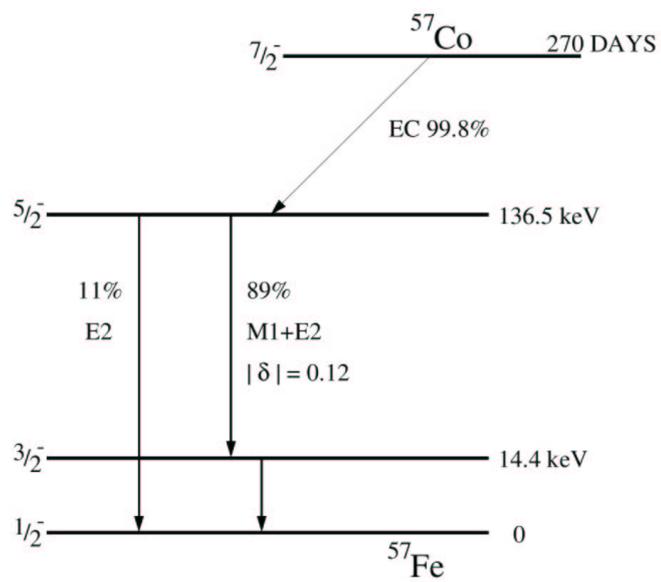


Abb. 1: Niveauschema für das  $^{57}\text{Co}$ -Präparat.