



Mößbauer-Effekt

Als Mößbauereffekt bezeichnet man die rückstoßfreie Absorption oder Emission von γ -Quanten durch Atomkerne (im Kristall). Durch die Rückstoßfreiheit ist die Energieverschmierung der γ -Strahlung sehr klein, d.h. fast auf die natürliche Linienbreite (Quantenmechanik) reduziert, das entspricht einer relativen Energieunschärfe von ca. 10^{-13} .

Kleinste Energiedifferenzen, hervorgerufen durch sehr unterschiedliche Ursachen wie Dopplerverschiebung, Kernpotentialänderungen durch unterschiedliche chemische Umgebung (Isomerieverschiebung), Hyperfeinstrukturaufspaltung oder Quadrupolaufspaltung können bestimmt werden, indem man verschiedene Emitter- und Absorbersubstanzen verwendet. In diesem Versuch wird als Quelle ^{57}Co verwendet, das durch K-Einfang in den angeregten Zustand von ^{57}Fe übergeht.

Ziel des Versuchs ist es, die für den Mößbauereffekt charakteristischen Messgrößen wie die Hyperfeinstrukturaufspaltung beim natürlichen Eisen, die Isomerieverschiebung bei $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ und den elektrischen Feldgradienten am Kernort bei $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ zu bestimmen. Hierzu wird die Absorption der 14,4 keV- γ -Strahlung von ^{57}Fe als Folge des Mößbauereffekts untersucht. Die ^{57}Co Kerne des Emitters sind in eine Rhodium-Matrix eingebettet, um eine aufspaltungsfreie Linie als Quelle zu gewährleisten. Außer den Mößbauerspektren wird auch das vollständige γ -Spektrum von ^{57}Co aufgenommen.

I. Erforderliche Kenntnisse

Theoretische Grundlagen der Kern- und Festkörperphysik:

(Ref 1-9):

Grobe Übersicht: γ -Strahlung, β -Zerfälle, schwache Wechselwirkung

Im Detail: Zerfallsschema von ^{57}Co (strahlende Lebensdauer,

Linienverbreiterungsmechanismen, innere Konversion), γ -Spektrum von ^{57}Co ,

rückstoßfreie γ -Emission, Theorie des Mößbauereffektes, Mößbauerspektrum,

Verbreiterungsmechanismen, Phononen, Debye-Waller-Faktor

Wechselwirkung des Kernes mit inneren und äußeren elektischen und magnetischen Feldern:

Hyperfeinstrukturaufspaltung, Quadrupolaufspaltung und Isomerieverschiebung

NaJ-Szintillationszähler: (Ref 10-12)

Absorptionsmechanismen von Röntgen- und γ -Strahlung in Materie, Szintillationsmechanismus in NaJ

Experimentelle Grundlagen zur kernphysikalischen Meßtechnik:

Aufbau Szintillationszähler

Einkanaldiskriminator (EKD)

Vielkanalanalysator (VKA)

Meßapparatur zur Anwendung des Mößbauereffekts

II. Literatur

- (1) H. Wegener Der Mößbauereffekt und seine Anwendungen in Physik und Chemie, B.I. Hochschultaschenbücher, Mannheim, 1966 [Gu900]
- (2) D.P. Dickson (ed.) Mößbauer Spectroscopy, (engl.) Cambridge Univ. Press, 1986 [Gu951]
- (3) D. Barb Grundlagen und Anwendungen der Mößbauerspektroskopie Akademie-Verlag, Berlin, 1980 [Gu953]
- (4) K. Bethge Kernphysik: Eine Einführung, Springer Verlag, Berlin, 2001 [Gs480:B562]
- (5) G. Musiol Kernphysik und Elementarteilchenphysik, Dt. Verlag der Wiss., Thun, 1995 [Gs500:M987]
- (6) T. Mayer-Kuckuk Kernphysik, Teubner-Verlag, Stuttgart, 1994 [Gs480:M468]
- (7) W.T. Hering Angewandte Kernphysik, Teubner-Verlag, Stuttgart, 1999 [Gs480:H546]
- (8) P. Marmier Kernphysik I, Verlag der Fachvereine der ETH Zürich, 1990
- (9) R.L. Mößbauer Zeitschrift für Naturforschung 14a, 211, 1959
- (10) H. Neuert Kernphysikalische Meßverfahren zum Nachweis für Teilchen und Quanten, Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1966 [Gu890]
- (11) C. Grupen Teilchendetektoren, B.I.-Wiss.-Verl., Mannheim, 1993 [Gu888]
- (12) G. F. Knoll Radiation detection and measurement, Wiley-Verlag, 2000

III. Experimentelle Aufgaben

1. Messen Sie das Röntgen- und γ -Spektrum der radioaktiven ^{57}Co -Mößbauerquelle mit dem VKA (PHA Mode). Optimieren Sie jeweils die Einstellung der Verstärkung für die Aufnahme des kompletten Spektrums und für die Mößbauerlinie.
2. Stellen Sie den Filter auf die 14,4 keV-Mößbauerlinie von ^{57}Fe ein (MCS [Window] Mode).
3. Messen Sie die Hyperfeinstrukturaufspaltung mit dem Absorber aus natürlichem Eisen ($|v_{\text{max}}| = 9 \text{ mm/s}$).
4. Messen Sie die Quadrupolaufspaltung mit dem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -Absorber ($|v_{\text{max}}| = 5 \text{ mm/s}$).
5. Messen Sie die Isomerieverschiebung mit dem $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -Absorber ($|v_{\text{max}}| = 3 \text{ mm/s}$).

IV. Versuchsauswertung

1. Erklären Sie das γ -Spektrum der ^{57}Co -Quelle.
2. Führen Sie mit Hilfe der Literaturwerte für die Aufspaltung der Linien beim natürlichen Eisen eine Geschwindigkeitseichung des Mößbauerspektrometers durch, indem Sie den Abstand der beiden äußeren Linien bestimmen. Verwenden Sie für die folgende Auswertung (3., 4. und 5.) die korrigierte Geschwindigkeitskurve.
3. Bestimmen Sie aus der Hyperfeinstrukturaufspaltung beim natürlichen Eisen:
 - a) die Isomerieverschiebung von ^{57}Fe .
 - b) das Magnetfeld am Kernort.
 - c) das magnetische Moment des ersten angeregten Zustands von ^{57}Fe .
4. Bestimmen Sie die Isomerieverschiebung und den elektrischen Feldgradienten am Kernort bei $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.
5. Bestimmen Sie die Isomerieverschiebung von $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.
6. Fehlerrechnung (Fehlerfortpflanzung des Fehlers in der Kanalzahl)

V. Benötigte Daten

magnet. Moment des Grundzustandes : $\mu_g = 0,0903 \mu_K$
Quadrupolmoment : $Q = 0,29 \text{ barn}$

Literaturwerte

1. Isomerieverschiebung zw. natürlichem Eisen und Fe in Platin: $\delta (\text{Fe, Pt}) = 0,35 \text{ mm/s}$
2. Isomerieverschiebung zw. Fe in Pt und Fe in $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: $\delta (\text{Pt, K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6) \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = -0,39 \text{ mm/s}$
3. Isomerieverschiebung zw. Fe in Pt und Fe in $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: $\delta (\text{Pt, FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 0,92 \text{ mm/s}$
4. Quadrupolaufspaltung beim $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: $\varepsilon (\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 3,19 \text{ mm/s}$

[aus Kerler et al., Zeitschrift für Physik 167, (2), 176-193 (1962)]

5. Isomerieverschiebung zw. natürlichem Eisen und Fe in Rhodium: $\delta (\text{Fe, Rh}) = 0,11 \text{ mm/s}$
6. Abstand der beiden äußeren (mittleren, inneren) Linien im Spektrum des natürlichen Fe: $\Delta = 10,6 \text{ mm/s}$ (6,1 mm/s, 1,68 mm/s)

[aus Barb: Mößbauerspektroskopie S.53ff]

VI. Hinweise zur Durchführung

1. Informieren Sie sich mit Hilfe der ausliegenden Beschreibung über die Nutzung und Einstellmöglichkeiten des Programms „WisoSoft 2003“.
2. Untersuchen Sie mit einem Messgerät die Strahlenbelastung im Bereich des Messaufbaus und Strahlengangs.
3. Stoßen Sie nicht an den Tisch der Mößbauerapparatur.
4. Verändern Sie die Messfrequenz der Mößbauerapparatur nicht.
5. Verschließen Sie die Durchlassöffnung mit dem Bleieinschub, wenn keine Messung durchgeführt wird.
6. Schalten Sie den Motor nur ein (Transducer on/off), wenn er für die Messung benötigt wird.

VII. Versuchsaufbau

