

Versuch 1.12

MÖSSBAUER-Effekt

A. Aufgabenstellung

Mit Hilfe einer automatischen MÖSSBAUER-Apparatur und einer ^{57}Co -Quelle sind für den 14,4 keV γ -Übergang die Absorptionsspektren der folgenden vier Proben aufzunehmen: Eisen (magnetisch), Stahl (unmagnetisch), Natriumnitrosylprussiat ($\text{Na}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_5 \text{NO}] \times 2\text{H}_2\text{O}$) und Eisenoxyd (Fe_2O_3). Nach Kalibrierung der Geschwindigkeitsachse des magnetischen Hyperfeinstrukturspektrums (Fe magnetisch) mittels des bekannten inneren Magnetfeldes von $(33,3 \pm 1)$ T wird das magnetische Moment im angeregten Kernniveau berechnet ($\mu_{\text{Grundzustand}} = 0,0903 \mu_k$). Ferner wird die natürliche Linienbreite bzw. die Lebensdauer des angeregten Kernniveaus, die elektrische Quadrupolaufspaltung sowie bei der kombinierten magnetischen und elektrischen Hyperfeinwechselwirkung das innere Magnetfeld und die Quadrupolaufspaltung bestimmt.

B. Anleitung zur Theorie

a) Ausgehend von der Kernresonanzfluoreszenz und deren grundsätzliche experimentelle Schwierigkeiten wird die beim MÖSSBAUER-Experiment in der Resonanzabsorption auftretende Linie qualitativ erörtert.

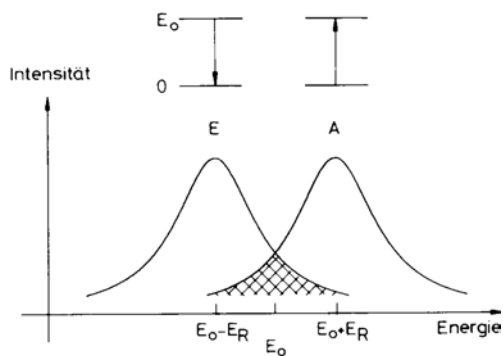


Fig. 1.12.1: Intensitätsspektrum eines γ -Übergangs an freien Kernen in Emission (E) und Absorption (A); E_R : Rückstoßenergie.

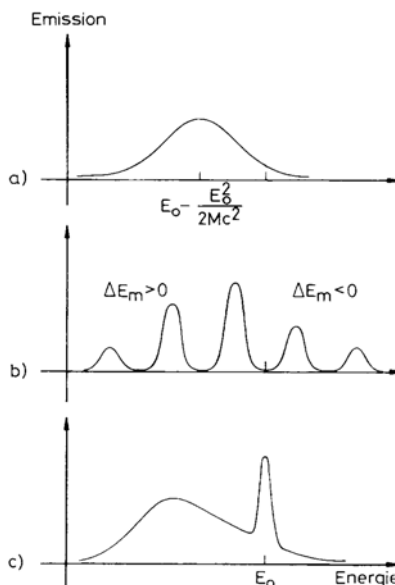


Fig. 1.12.2: Spektrale Emission von γ -Strahlung mit der Übergangsenergie E_0 beim freien Atom (a) und Molekül (b) ohne Berücksichtigung der DOPPLER-Verbreiterung (E_m : Molekülenergie) sowie beim Kristall (c).

b) Die Stärke der Resonanzabsorption wird durch den sogenannten DEBYE-Waller-Faktor (DW-Faktor) angegeben, der den Bruchteil jener Übergangsereignisse darstellt, die ohne Abgabe der Rückstoßenergie stattfinden. Eine qualitative Diskussion des DW-Faktors bezüglich der γ -Emission im Atom-, Molekül- und Kristallverband läßt dessen Temperaturabhängigkeit und die Intensitätsverteilung im Energiespektrum verständlich werden.

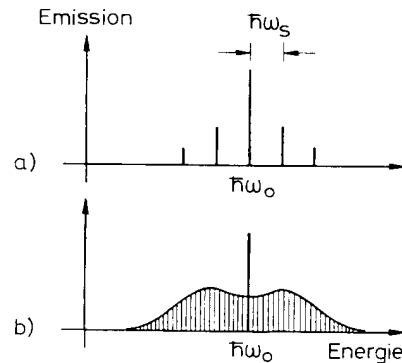


Fig. 1.12.3: Emissionsspektrum von γ -Strahlung im Kristallgitter nach dem klassischen Modell;

a) Anregung einer elastischen Gitterschwingung der Energie $\hbar\omega_s$, b) Anregung aller möglichen $3N$ Gitterschwingungen.

c) Eine klassische quantitative Erklärung des DW-Faktors legt die Vorstellung eines sich bewegenden, elektromagnetischen Senders an Stelle des emittieren Kerns zu Grunde. Die dabei infolge der Frequenzmodulation auftretenden Seitenbänder zeigen abweichend vom Experiment eine symmetrische Verteilung bzgl. der Hauptlinie, deren Intensität den DW-Faktor darstellt.

d) Die magnetische Hyperfeinstruktur tritt infolge der Wechselwirkung zwischen dem magnetischen Moment und einem inneren Magnetfeld auf, dessen Ursprung verschiedener Art sein kann.

e) Die elektrische Hyperfeinstruktur tritt infolge der Wechselwirkung zwischen dem elektrischen Quadrupolmoment des Kerns und dem Feldgradient von Elektronen oder benachbarten Atomen außer von s -Elektronen auf.

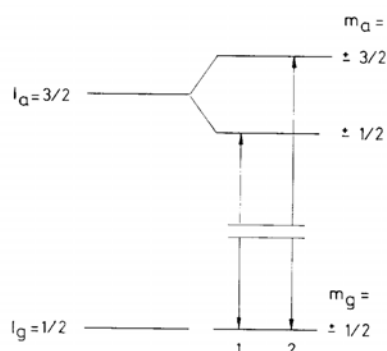
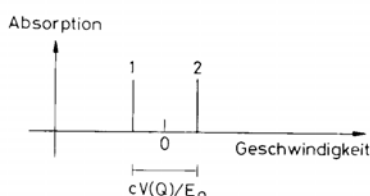


Fig. 1.12.4: Elektrische Hyperfeinstrukturaufspaltung des angeregten Kernzustands von ^{57}Fe und schematisches MÖSSBAUER-Spektrum.



f) Die Isomerieverschiebung, die eine Asymmetrie des MÖSSBAUER-Spektrums bezüglich der Nullgeschwindigkeit zur Folge hat, erhält man auf Grund verschiedener Kernradien für den Grundzustand und den angeregten Zustand sowie auf Grund unterschiedlicher Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Elektronen am Kernort $|\psi(0)|^2$ bei Quelle und Absorber.

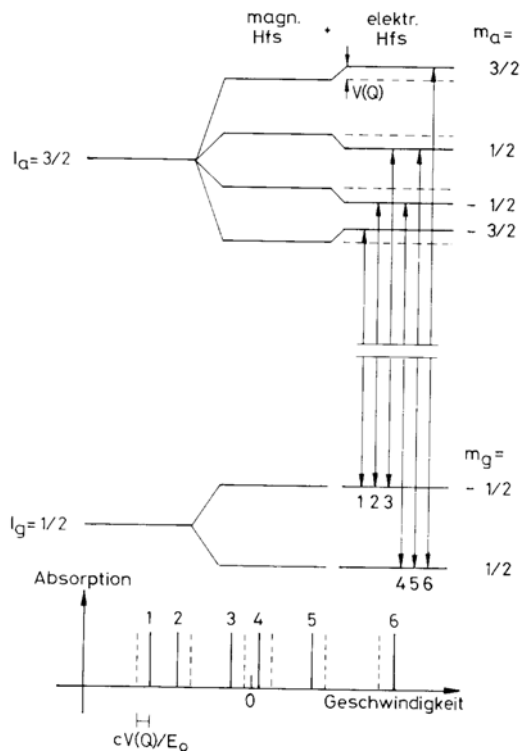


Fig. 1.12.5: Kombinierte magnetische und elektrische Hyperfeinstrukturaufspaltung (Hfs) des Grundzustands (g) und des angeregten Zustands (a) von ^{57}Fe -Kernen sowie schematisches MÖSSBAUER-Spektrum (-----: magnetische Hyperfeinstruktur alleine).

g) Zum experimentellen Nachweis der MÖSSBAUER-Linie wird der DOPPLER-Effekt ausgenutzt, wobei neben der Absorption auch die nachfolgende γ -Emission von inneren Umwandlungselektronen und die Röntgenstrahlung gemessen werden kann. Der experimentelle Ablauf wird einschließlich des Bewegungsmechanismus beschrieben.

C. Anleitung und Durchführung

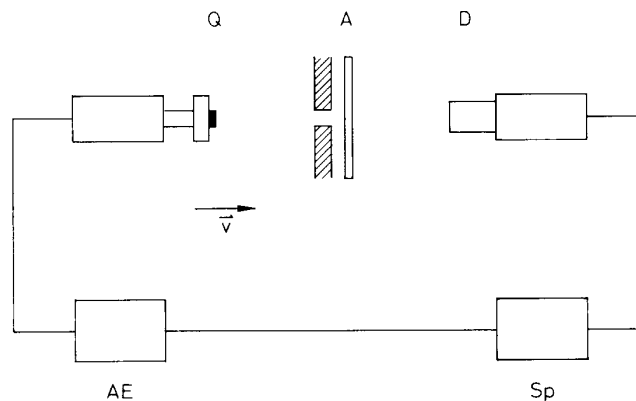


Fig. 1.12.6: Schematischer Versuchsaufbau zum MÖSSBAUER-Effekt; Q: Quelle, A: Absorber, D: Detektor, (NaJ-Szintillationskristall, Photomultiplier), Sp: Spektrometer, AE: Antriebseinheit.

Die ^{57}Co - Einlinienquelle ca. (700 MBq) wird auf den Stempel des Antriebssystems geklebt (nur vom Assistenten!). Zunächst wird das γ -Spektrum mit dem NaJ/Tl Szintillationskristall (0,2 mm Dicke) aufgenommen. Dabei beträgt der Abstand zwischen dem Nuklid und dem Kristall etwa 50 cm. Bei der nachfolgenden Absorptionsmessung wird der Abstand auf etwa 5 cm verringert; die Absorber werden an einem Bleikollimator befestigt in der Mitte angebracht. Die Hochspannung am Photomultiplier soll 1300 V nicht überschreiten. Der Impuls der MÖSSBAUER-Energie (14,4 keV) soll etwa zwischen 300 und 600 mV betragen. Das Energiefenster wird mit einer Breite von etwa 100 mV auf die MÖSSBAUER-Linie eingestellt. Der Abschwächer an der Antriebseinheit (MD-2E) wird in der Stellung 3,33 arretiert. Das Spektrum des Fe_2O_3 Absorbers ist außerdem noch mit der Stellung 4,5 des Abschwächers aufzunehmen, damit alle Absorptionsminima registriert werden können. Die Zählzeit pro Kanal beträgt 1 Sekunde.

D. Geräte

- 1 nukleares Spektrometer (Fa. Elscint INS-11E)
- 1 Antriebseinheit für das Bewegungssystem (MD-2E)
- 1 Bewegungssystem (MVT-2)
- 1 Digital-Sweep-Generator
- 1 Szintillationskristall NaJ/Tl (0,2 mm Dicke) optisch gekoppelt an einen Photomultiplier
- 1 X-Y-Schreiber
- 1 optische Bank mit Reiter
- 1 ^{57}Co Präparat
- 1 Eisenabsorber (90,4 % ^{57}Fe)
- 1 Stahlabsorber (90,7 % ^{57}Fe)
- 1 Natriumnitrosylprussiatabsorber
- 1 Eisenoxydabsorber (90,7 % ^{57}Fe)

E. Literatur

- R. MÖSSBAUER, Z. Physik **151**, 124 (1958), Z. Naturforsch. **14a**, 211 (1959)
- H. WEGENER, *Der MÖSSBAUER-Effekt und seine Anwendungen in Physik und Chemie* Bibliographisches Institut, Mannheim, 1966
- H. FRAUENFELDER, *The MÖSSBAUER-Effect* W.A. Benjamin, Inc., New York, 1962
- G.K. WERTHEIM, *MÖSSBAUER-Effect Principles and Application* Academic Press, New York, 1964
- M. BÖHM, A. SCHARMANN *Höhere Experimentalphysik*, VCH, Weinheim, 1992