Mössbauer-Spektroskopie

Fabian Hildebrandt, Sebastian Rammensee, Claudius Knaak

21.01.2004

1 Mössbauereffekt

Bei in Festkörpern eingebauten Kernen kann man unter bestimmten Voraussetzungen rückstoßfreie, nicht thermisch verbreiterte Resonanzabsorption von Gammastrahlung beobachten. Diese Resonanzabsorption heißt Mössbauereffekt. In diesem Praktikumsversuch wird dieser Effekt benutzt, um sehr kleine Verschiebungen und Aufspaltungen der Kernniveaus durch die umgebende Elektronenhülle zu messen.

2 Geschwindigkeitseichung

Zunächst ist der Zusammenhang zwischen Effektiv-Spannung des Antriebs und der Maximalgeschwindigkeit des Antriebs zu bestimmen. Es gilt

$$v = \frac{n \cdot \lambda/2}{\Delta t}$$

mit
n = Zahl der gezählten Intensitätsmaxima,
λ= Wellenlänge des Lasers,
Δt = Zeit pro Kanal.

Wir erhalten mit dem VMAX-Programm und mit n = 8903, λ = 632,8 nm und Δt = 131 ms für die Antriebsspannung 300 mV eine Maximalgeschwindigkeit von

$$v_{max} = 10,67 \pm 0,034 \text{mm/s} \tag{1}$$

3 Bestimmung der Hyperfeinparameter

Aus den gemessenen Spektren waren die Hyperfeinparameter zu bestimmen.

3.1 Unterschied der Elektronendichte am Kernort

Die Isomerieverschiebung, d.h. Energiedifferenz zwischen der Energie eines punktförmigen Kernes und eines ausgedehnten Kernes im Feld der Hüllenelektronen beträgt

$$S = \frac{1}{6\epsilon_0} Ze^2 |\Psi\,(0)\,|^2 \langle r^2 \rangle$$

Eine Isomerieverschiebung der Mössbauerlinie kann nur auftreten, wenn S für den angeregten und den Grundzustand verschieden sind:

$$\Delta S = \frac{1}{6\epsilon_0} Ze^2 \left(|\Psi_A\,(0)\,|^2 - |\Psi_B\,(0)\,|^2 \right) \left(\langle r_A^2 \rangle - \langle r_B^2 \rangle \right) \quad (2)$$

Dabei ist laut Anleitung $\langle r_A^2 \rangle - \langle r_B^2 \rangle = -\,(15 \pm 5) \cdot 10^{-3} fm^2$ eine reine Kerneigenschaft und daher in Quelle und Absorber gleich groß. Die aus unserer Messung erhaltenen Fitparameter 'Isoshift' betragen:

$$Isoshift_{Gekühlt} = 0,34198 \pm 0,00114 mm/s$$
$$Isoshift_{Raumtemp} = 0,26741 \pm 0,00083 mm/s$$

Einsetzen in Gleichung $E = \frac{v}{c} E_0$ liefert:

$$S_{Gekühlt} = (1,642 \pm 0,005) \cdot 10^{-8} eVs$$
$$S_{Raumtemp} = (1,248 \pm 0,004) \cdot 10^{-8} eVs$$

Jetzt kann an durch Einsetzen in Gleichung (2) und Auflösen den Unterschied der Elektronendichte am Kernort berechnen:

$$\left(|\Psi_A\,(0)\,|^2 - |\Psi_B\,(0)\,|^2 \right)_{Gekühlt} = -\,(2,068 \pm 0,006)\, C/a^3$$
$$\left(|\Psi_A\,(0)\,|^2 - |\Psi_B\,(0)\,|^2 \right)_{Raumtemp} = -\,(1,617 \pm 0,005)\, C/a^3$$

3.2 Magnetisches Hyperfeinfeld am Kernort

Nun soll das magnetische Hyperfeinfeld am Kernort bestimmt werden. Die Elektronen erzeugen am Kernort ein Magnetfeld B. Mit diesem wecheslwirkt das magnetische Moment des Kerns, was zu der Aufspaltung in sechs Linien führt. Der Grundustand mit Isospin $I_g = 1/2$ spaltet in $+1/2$ und $-1/2$ auf. Der Abstand dieser Niveaus sei E_g . Der angeregte Zustand hat $I_a = 3/2$, spaltet also in vier Niveaus mit jeweils dem Abstand E_a auf. Für den Abstand zweier Linien gilt im Allgemeinen die Formel aus der Anleitung:

$$E = E_0 - \left(\frac{\mu_a m_a}{I_a} - \frac{\mu_g m_g}{I_g} \right) B \quad (3)$$

E_g entspricht gerade der Differenz zwischen Linie 3 (von $m_g = -1/2$ nach $m_a = +1/2$) und Linie 5 ($m_g = +1/2 \ldots m_a = +1/2$).

Gekühlt:

$$E_5 - E_3 = E_{g,Gekühlt} = 6,44822 \pm 0,00417 mm/s = 2\mu_g B$$

Raumtemperatur:

$$E_5 - E_3 = E_{g,Raumtemp} = 6,17738 \pm 0,00307 mm/s = 2\mu_g B$$

Entspricht gerade der Differenz zwischen Linie 2 ($m_g = -1/2$ nach $m_a = -1/2$) und Linie 3 ($m_g = -1/2 \ldots m_a = +1/2$).

Gekühlt:

$$E_3 - E_2 = E_{a,Gekühlt} = 3,69088 \pm 0,00169 mm/s = -\frac{2}{3}\mu_a B$$

Raumtemperatur:

$$E_3 - E_2 = E_{a,Raumtemp} = 3,55146 \pm 0,00124 mm/s = -\frac{2}{3}\mu_a B$$

Aus der Anleitung entnehmen wir noch $(0,090604 \pm 9) \cdot \mu_k$. Damit erhält man diese Magnetfelder am Kernort:

Gekühlt:

$$B = (54,116 \pm 0,034)\, T$$

Raumtemperatur:

$$B = (54,843 \pm 0,025)\, T$$

3.3 Elektrischer Feldgradient am Kernort

Die Quadrupolwechselwirkung des Kerns mit der Elektronenhülle beeinflußt ebenfalls die Linienposition. Quantenmechanische Störungstheorie liefert die in der Anleitung angegebene Abhängigkeit der Qudrupolwechselwirkung vom Winkel und der z-Achse des elektrischen Feldgradienten, die durch den Kristall vorgegeben ist. Wegen diesen speizellen Eigenschaften ist es nur sinnvoll, den Wert für die Quadrupolaufspaltung unterhalb der sogenannten Morin-Temperatur (260 K) zu berechnen. Wir beobachteten auch einen Vorzeichenwechsel des Fitparameters der Quadrupolaufspaltung zwischen der gekühlten und der ungekühlten Messung. In Anlehnung an Bild 5 der Anleitung ergibt sich

$$\Delta E_q = \frac{eQV_{zz}}{2} = (0,40168 \pm 0,00228)\, mm/s => (1,9497 \pm 0,001) \cdot 10^{-8} eV$$

Mit $Q = 0,21 \pm 0,01$ barn aus der Anleitung ergibt sich

$$V_{zz} = (1,85 \pm 0,07) \cdot 10^{17} V/cm^2$$

3.4 Diskussion

Die Differenz der Elektronendichte ist bei niedriger Temperatur größer. Auch das Magnetfeld am Kernort ist in der kälteren Probe größer. Dies rührt wahrscheinlich von dem angesprochenen Übergang vom verkippten ferromagnetischen zum kolinear antiferromagnetischen Zustand her.

4 Angeregtes Niveau von Eu_2O_3

Dieser Teil des Praktikums wurde wegen der schon weit fortgeschrittenen Zeit weggelassen.

5 Mögliche Fehlerquellen

Da wir den entsprechenden Versuchsteil nicht durchgeführt haben, wissen wir nichts über Größenordnung des Fehlers. Als mögliche Fehlerquellen kommt aber der in der Anleitung erwähnte quadratische Dopplereffekt in Frage, sowie vielleicht ein Temperaturgradient in der Probe.

6 Impulserhaltung

Natürlich wird bei der rückstoßfreien Absorption und Emission von Gammaquanten der Impulssatz nicht verletzt. Die bei Emission eines Photons an den Kern abgegebene Rückstoßenergie ist umgekehrt proportional zu seiner Masse. Ist das Atom fest in ein Gitter eigebunden, so kann die Rückstoßenergie an das ganze Gitter abgegeben werden. Damit hängt die Rückstoßenergie von der Masse des Kristalls ab, die ca. 10^{23} mal so groß ist wie die des Atoms. Der Gesamtimpuls bleibt also erhalten, wird aber fast ausschließlich an das Photon abgegeben.