

Möbbaauer-Effekt

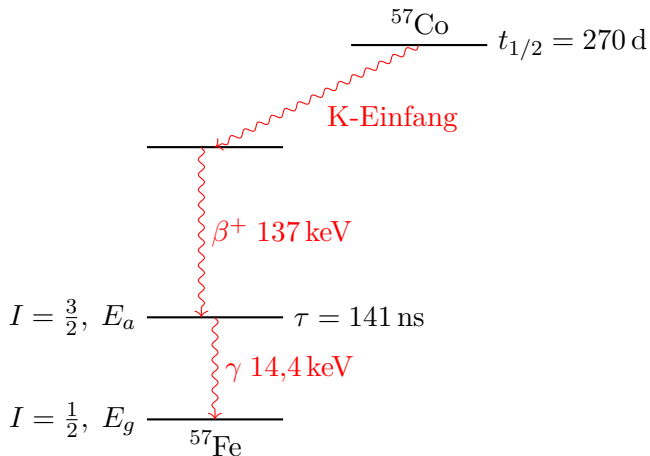
Martin Beyer

01. Juli 2020

Gliederung

- 1 Grundlagen
 - Kernzerfälle, γ -Strahlung
 - Linienverbreiterung
 - Rückstoß und Energieverschiebung
- 2 Mößbauer-Effekt
 - Apparatur
 - Erklärung
 - Debye-Waller-Faktor
- 3 Mößbauer-Spektroskopie
 - Umsetzung im Praktikum
 - Anwendungen
- 4 Zusammenfassung

Zerfallsschema von ^{57}Co



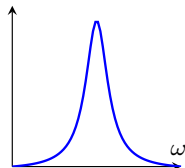
[1] DEMENTROEDER, W.; Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper.

Linienverbreiterung

Natürliche Linienbreite Γ

- HEISENBERG'sche Unschärferelation:

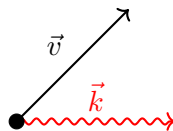
$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$
- Linienbreite von ^{57}Fe : $\Gamma = \frac{\hbar}{\tau} = 4,7 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$



Dopplerverbreiterung

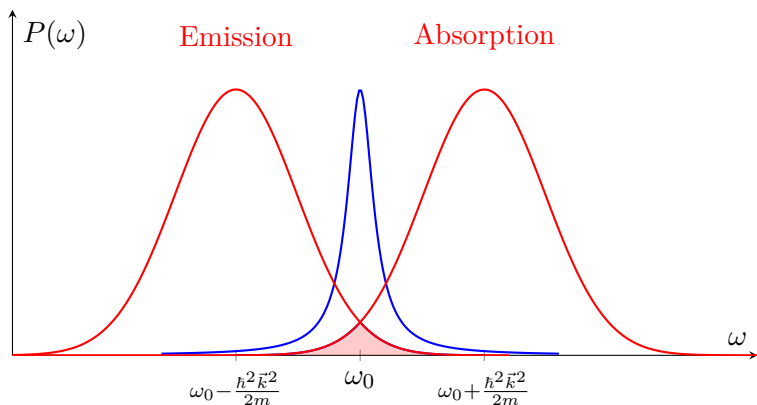
- Frequenzverschiebung: $\omega' = \omega_0 + \vec{k} \cdot \vec{v}$
- Linienverbreiterung von ^{57}Fe (Gas):

$$\Delta\omega \sim \omega_0 \sqrt{\frac{T}{m}} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$$



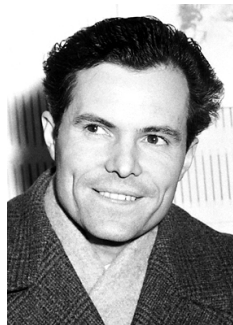
Rückstoß und Energieverschiebung

- Rückstoß: $\vec{p} = \hbar\vec{k} \Rightarrow \Delta E \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$
- Energiebilanz: $\hbar\omega = \hbar\omega_0 + \hbar(\vec{k} \cdot \vec{v}) - \frac{\hbar^2\vec{k}^2}{2m}$



Mößbauer-Effekt

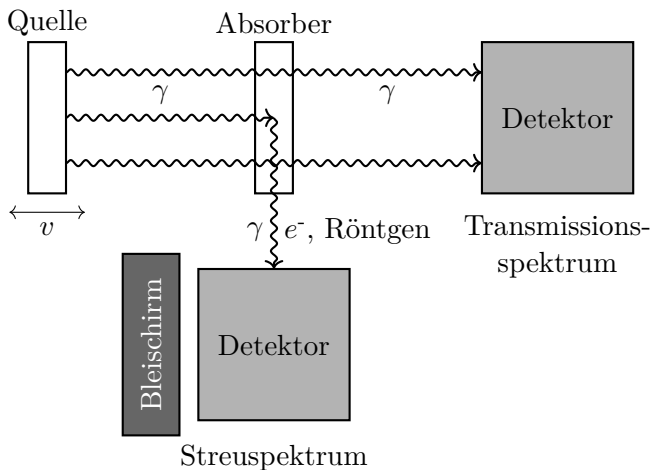
- Entdecker: Rudolf Mößbauer (Nobelpreis 1961)
- Experiment [2]: Untersuchung des 129 keV-Übergangs von ^{191}Ir
- überraschendes Resultat: **Rückstoßfreie Kernresonanzabsorption** von γ -Strahlung bei tiefen Temperaturen.
- Voraussetzung: Atome im Kristallgitter eingebaut



Mößbauer 1929-2011

[2] MÖSSBAUER, R.; Kernresonanzfluoreszenz von Gammastrahlung in ^{191}Ir . Z. Physik 151, 124-143 (1958)

Mößbauer-Effekt: Die Apparatur

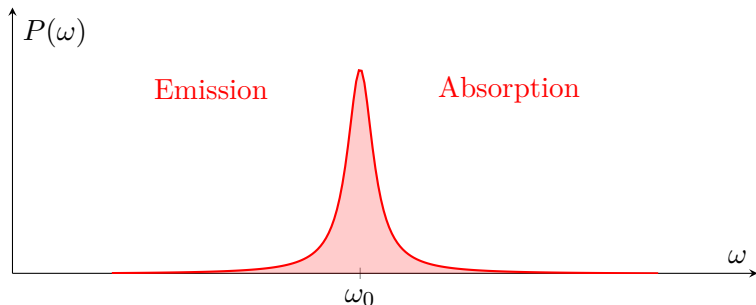


[3] nach SCHATZ, G.; WEIDINGER, A. Nukleare Festkörperphysik; Teubner, 1992

Mößbauer-Effekt

Die Erklärung

- Rückstoß kann von **Phononen** (gequantelte Gitterschwingungen, $\hbar\omega$) aufgenommen werden.
- $E_{\text{Rückstoß}} < \hbar\omega$: Rückstoß vom gesamten Gitter aufgenommen.
- Folge: kein Energieübertrag auf das Gitter, unverschobene Spektrallinie



Debye-Waller-Faktor f

- Wahrscheinlichkeit eines unverschobenen Übergangs
- Erklärung mithilfe des Debye-Modells

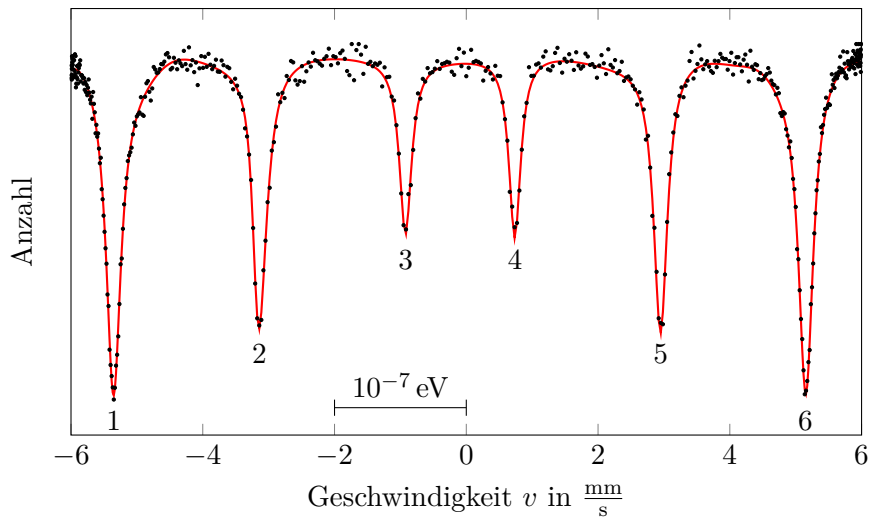
$$f \approx \exp \left[-\frac{E_{\text{Rück}}}{k_B \Theta} \left(\frac{3}{2} + \frac{\pi^2 T^2}{\Theta^2} \right) \right] \quad \text{für } T \leq \Theta \quad (1)$$

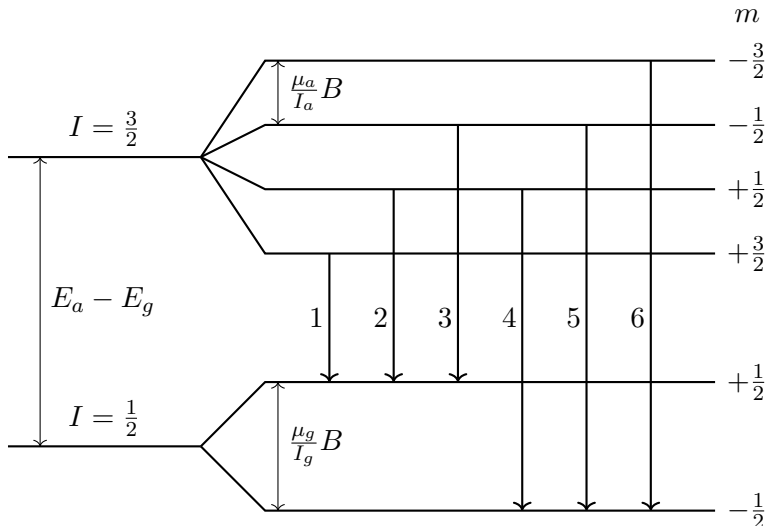
Eigenschaften einer optimalen Quelle:

- kleine Rückstoßenergie $E_{\text{Rück}}$ (große Masse m)
- hohe Debye-Temperatur Θ (Fe: $\Theta = 470$ K)
- geringe Temperatur T
- hohe Lebensdauer des Übergangs τ (geringe Linienbreite)
- hohe Lebensdauer des Mutterisotops

[3] SCHATZ, G.; WEIDINGER, A. Nukleare Festkörperphysik; Teubner, 1992

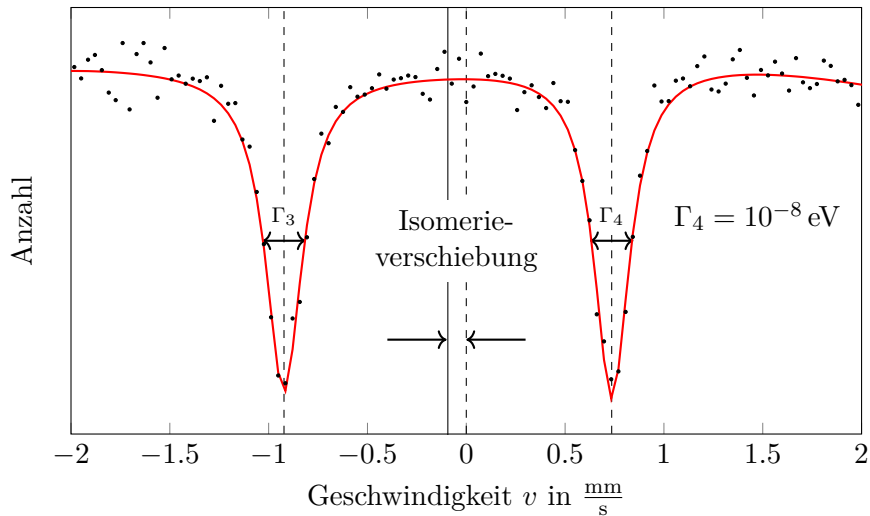
Transmissionsspektrum von Eisen



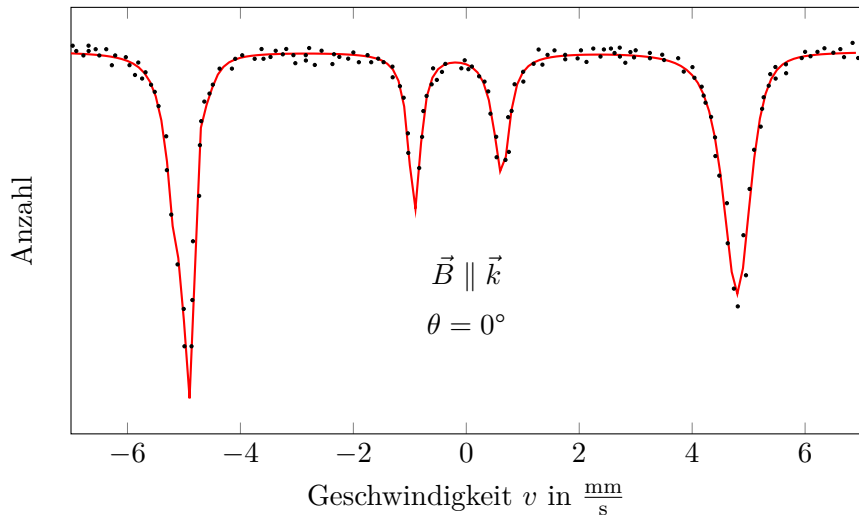
Magnetische Hyperfeinstrukturaufspaltung von ^{57}Fe 

[3] SCHATZ, G.; WEIDINGER, A. Nukleare Festkörperphysik; Teubner, 1992

Transmissionsspektrum von Eisen (vergrößert)

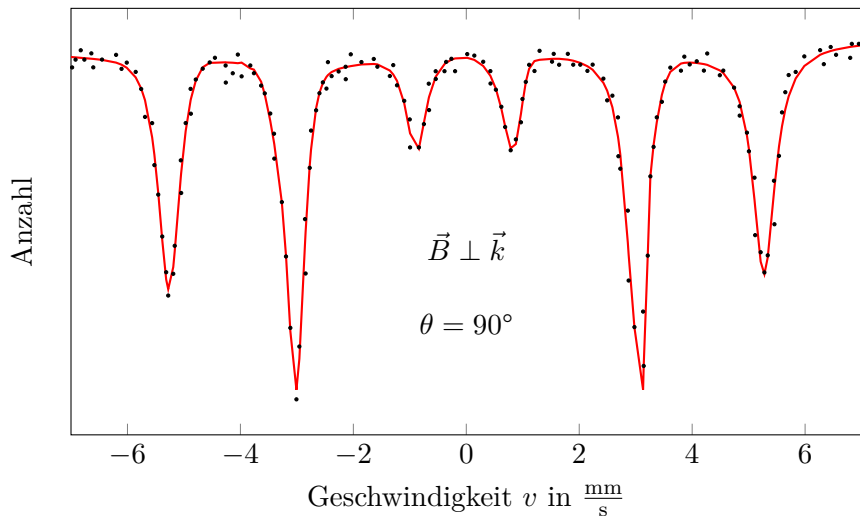


Linienintensität magnetisiertes Eisen



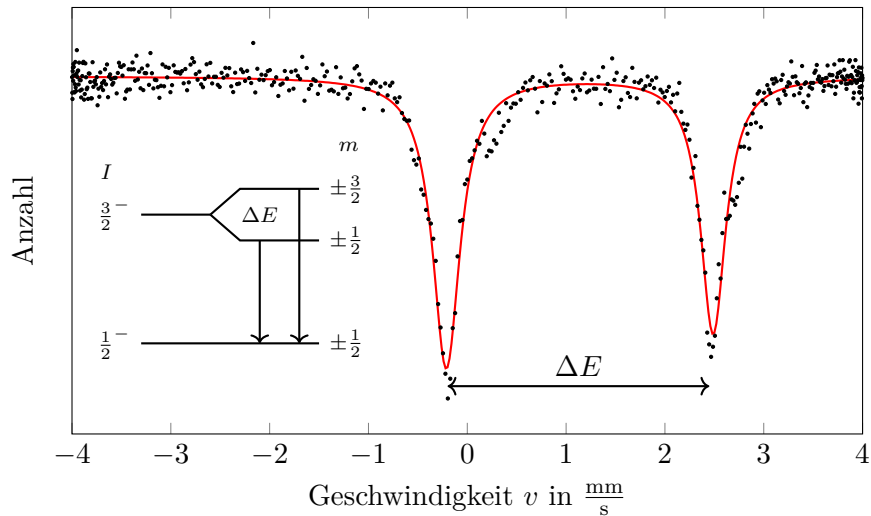
[4] GONSER, U.; Mößbauer Spectroscopy. Topics in Applied Physics; 1975

Linienintensität magnetisiertes Eisen



[4] GONSER, U.; Mössbauer Spectroscopy. Topics in Applied Physics; 1975

Quadrupolaufspaltung von Eisensulfat FeSO_4



Zusammenfassung

Mößbauer-Effekt

- Rückstoßfreie Kernresonanzabsorption im Festkörper
- Debye-Waller Faktor: Wahrscheinlichkeit rückstoßfreier Übergänge
- Eigenschaften idealer Quellen: $m_{\text{Kern}} \uparrow$, $\Theta \uparrow$, $\tau \uparrow$, $T \downarrow$

Mößbauer-Spektroskopie (Anwendungen)

- Isomerieverschiebung (chemische Eigenschaften)
- Magnetisierung (Linienintensität)
- elektrische Quadrupolaufspaltung
- Magnetische Dipolwechselwirkung
- Bestimmung des Kernmagnetfeldes

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Weiterführende Literatur

- SCHATZ, G.; WEIDINGER, A. Nukleare Festkörperphysik; Teubner, 1992
- GONSER, U.; Mößbauer Spectroscopy. Topics in Applied Physics; 1975