

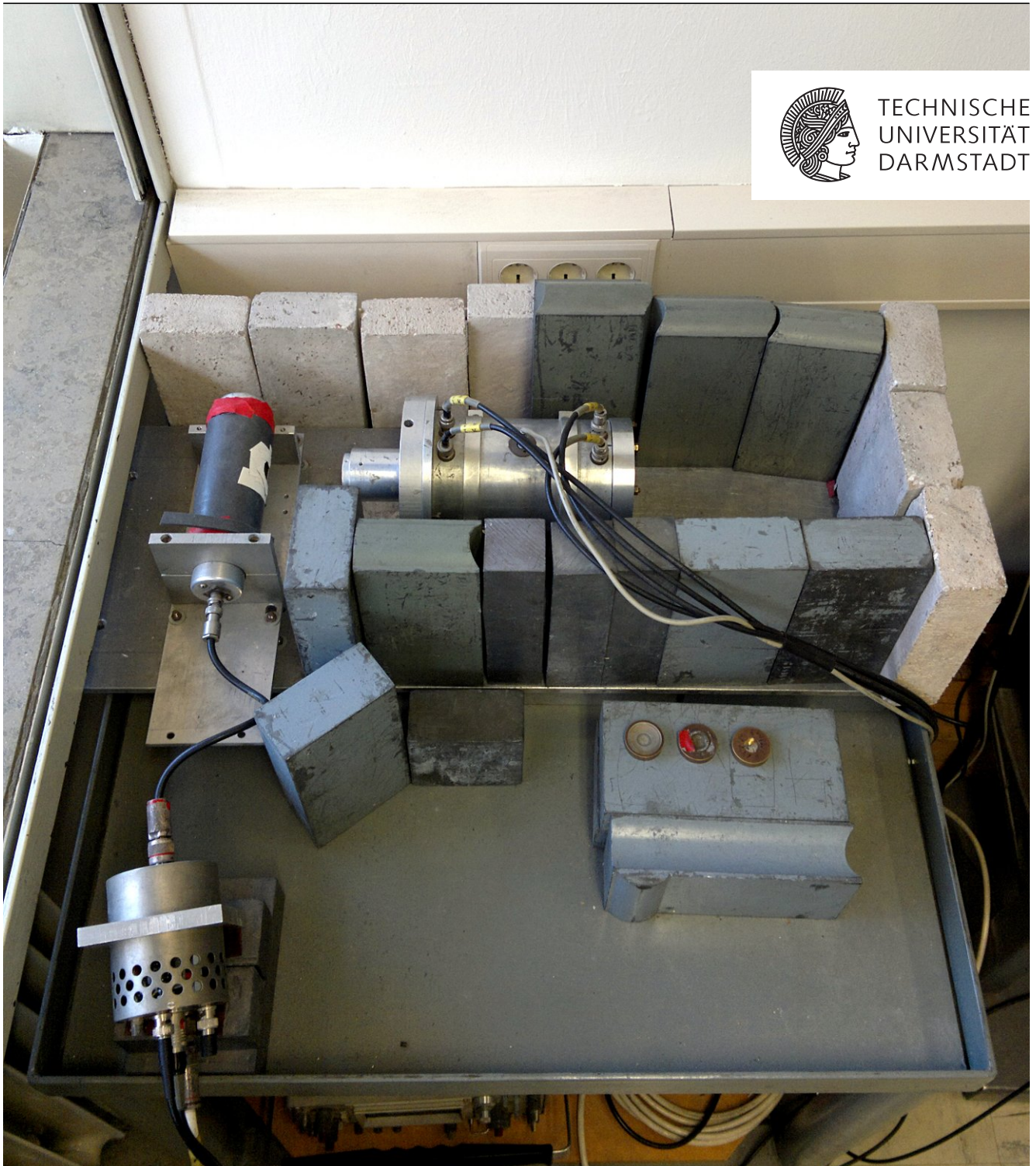
Versuch 2.4

Mößbauereffekt an ^{57}Fe

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene (Abteilung C)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Ziel des Versuchs

Dieser Versuch wird Ihnen einige Grundlagen der rückstoßfreien Resonanzabsorption von γ -Strahlung am Beispiel von ^{57}Fe erläutern. Dazu wird eine Mößbauerquelle mit einem elektromagnetischen Antrieb bewegt und die von verschiedenen Absorbern durchgelassene niederenergetische γ -Strahlung mit einem Proportionalzählrohr analysiert.

Stichworte: Lebensdauer von Kernzuständen, Linienbreiten, elektromagnetische Übergänge, Debye-Temperatur, Isomerieverschiebung, Hyperfeinaufspaltung

Anwendungen: Materialanalyse

1 Was man wissen sollte

1. Bevölkerung des Mößbauerzustandes
 - Zerfallschema von ^{57}Co (siehe Anlage)
 - Lebensdauer, Linienbreite, Konversionskoeffizient und Wirkungsquerschnitt
 - Elektromagnetische Übergänge und Auswahlregeln
2. Kernstruktur
 - Magnetisches Moment
 - Quadrupolmoment
3. Mößbauereffekt
 - Debye-Waller-Faktor, Debye-Temperatur
 - Isomerieverschiebung
 - Elektrische Hyperfeinaufspaltung
 - Magnetische Hyperfeinaufspaltung

Zur Vorbereitung des Versuches steht eine Literaturliste zur Verfügung. Die kernphysikalischen Grundlagen, die zum Verständnis des Versuchs notwendig sind, können in Kapitel IV aus „*Nukleare Festkörperphysik*“ von G. Schatz und A. Weidinger sowie in den Kapiteln I, II, IV, V aus „*Der Mößbauer-Effekt*“ von H. Wegener nachgelesen werden.

2 Messapparatur

1. Elektromagnetischer Antrieb (wird mit konstanter Beschleunigung betrieben)
2. Funktionsgenerator FG75 und Regelkreis für Antrieb mit Mößbaueranalysator und MFA84
3. Proportionalzählrohr für niederenergetische γ -Strahlung bzw. Röntgenstrahlung mit Vorverstärker und Hochspannungsversorgung (Betriebsspannung 2000 V)
4. Hauptverstärker und Einkanaldiskriminator
5. Analog-Digital-Converter (ADC)
6. PC zur Datenaufnahme
7. Quelle: ^{57}Co in eine Rhodiummatrix eindiffundiert (Einlinienquelle, 8 mm Durchmesser)
8. Absorber:
 - a) Edelstahl: $10,2(5) \text{ mg/cm}^2$, nicht angereichert, 55% Fe, 25% Cr, 20% Ni, $\Theta_D = 510 \pm 75$ Kelvin
 - b) Eisenmetall: 1 mg/cm^2 , zu 92,8% angereichert an ^{57}Fe
 - c) Borazit: chemische Bruttoformel $\text{Fe}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$, nicht angereichert

3 Versuchsdurchführung

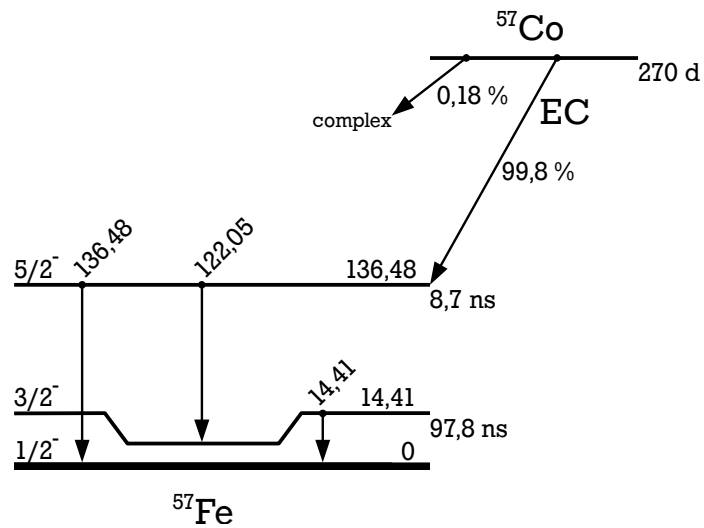
1. Man sehe sich mit dem Oszilloskop die Pulsformen und Pulshöhen der Signale des Zählrohres nach Vor- und Hauptverstärker an. Die Verstärkung des Hauptverstärkers soll so gewählt werden, dass die Pulse zwischen 0 V und 8 V hoch sind, damit sie vom ADC verarbeitet werden können.
2. Der ADC kann mit dem Programm *winTMCA* ausgelesen werden. Man nehme ein Impulshöhenspektrum bei laufendem Antrieb mit dem Edelstahlabsorber auf und identifiziere die 14,4 keV Linie.
3. Anschließend setze man mit Hilfe des Einkanaldiskriminators ein Fenster auf diese Linie. Das logische Ausgangssignal des Einkanaldiskriminators gibt dann Auskunft, ob ein γ -Quant der richtigen Energie im Detektor registriert wurde. Die Zahl dieser Ereignisse als Funktion der Geschwindigkeit der Quelle wird dann im Mößbauerspektrum registriert.
4. Man nehme Mößbauerspektren mit den folgenden Absorbern auf:
 - a) Edelstahl
 - b) Eisenmetall
 - c) Borazit

Hinweis: Es gelten die üblichen Verhaltensregeln beim Umgang mit radioaktiven Quellen:

- Rauchen, Essen und Trinken sind in den Räumen, in denen die Messungen stattfinden, verboten.
- Die γ -Quelle wird ausschließlich vom Betreuer gehandhabt.
- Halten sie Abstand von der γ -Quelle.

4 Auswertung

1. Kalibrierung: Das Impulshöhenspektrum kann mit Hilfe der beiden bekannten γ -Energien kalibriert werden. Für die Geschwindigkeitskalibrierung des Antriebs kann die bekannte magnetische Grundzustandsaufspaltung von 3,924 mm/s (in Fe-Metall bei Raumtemperatur) verwendet werden.
2. Man bestimme für die einzelnen Mößbauerspektren die Lage, Tiefe und Breite der Resonanzlinien.
3. Aus dem Impulshöhenspektrum bestimme man das Verhältnis der Linienfläche zur Gesamtfläche.
4. Aus dem gemessenen Resonanzeffekt im Edelstahlspektrum, unter Berücksichtigung der Untergrundkorrektur, bestimme man den Debye-Waller-Faktor der Quelle. Man berechne zum Vergleich die Absorption der 14,4 keV Linie durch nichtresonante Prozesse (Compton- und Photoeffekt, $\mu = 42 \text{ cm}^2/\text{g}$).
5. Aus den gemessenen Linienbreiten gebe man eine untere Grenze für die Lebensdauer des 14,4 keV-Niveaus an. Dazu überlege man sich die folgenden Einflüsse, die zu einer Verbreiterung der Linie führen können und versuche sie abzuschätzen:
 - Geometrie des Aufbaus
 - Dickenabhängigkeit der Linienbreite
 - Selbstabsorption in der Quelle
 - Nichtaufgelöste Hyperfeinaufspaltung
6. Man bestimme für alle drei Spektren die Isomerieverschiebung (in mm/s und keV)
7. Man bestimme für das Borazitspektrum die Quadrupolaufspaltung (in mm/s und keV) und den resultierenden Feldgradienten (in V/m^2).



Measured Properties ($E_\gamma = 14,4$ keV)		Measured Properties ($E_\gamma = 136,65$ keV)	
E_γ	$= 14,41303 \pm 0,00008$ keV	E_γ	$= 136,4785 \pm 0,0035$ keV
$t_{1/2}$	$= 97,81 \pm 0,14$ ns	$t_{1/2}$	$= 8,7 \pm 0,4$ ns
α_T	$= 8,21 \pm 0,12$	α_T	$= 0,142 \pm 0,016$
IA	$= 2,14$ % (isotope abundance)	ρ	$= 12$ %
μ	$= +0,090604 \pm 0,000009$ nm	R_μ	$= -1,7142 \pm 0,000009$ nm
R_μ	$= -1,7142 \pm 0,0004 = \mu_m/\mu$		
Q	$= +0,21 \pm 0,01$ b		
Derived Parameters ($E_\gamma = 14,4$ keV)		Derived Parameters ($E_\gamma = 136,65$ keV)	
σ_0	$= 2,56(3) \cdot 10^{-18}$ cm ²	σ_0	$= 3,45(5) \cdot 10^{-19}$ cm ²
Γ	$= 4,665(7) \cdot 10^{-9}$ eV	Γ	$= 5,24(24) \cdot 10^{-8}$ eV
W_0	$= 0,1940(7)$ mm/s	W_0	$= 0,230(11)$ mm/s
E_Γ	$= 1,956275(25) \cdot 10^{-3}$ eV	E_Γ	$= 1,75408(7) \cdot 10^{-1}$ eV
Energy Conversions ($E_\gamma = 14,4$ keV)		Energy Conversions ($E_\gamma = 136,65$ keV)	
1 mm/s	$= 11,6248(1)$ MHz	1 mm/s	$= 110,076(3)$ MHz
1 mm/s	$= 4,80766(3) \cdot 10^{-8}$ eV	1 mm/s	$= 4,55243(12) \cdot 10^{-7}$ eV

Abbildung 1: Vereinfachtes Zerfallschema von ^{57}Co

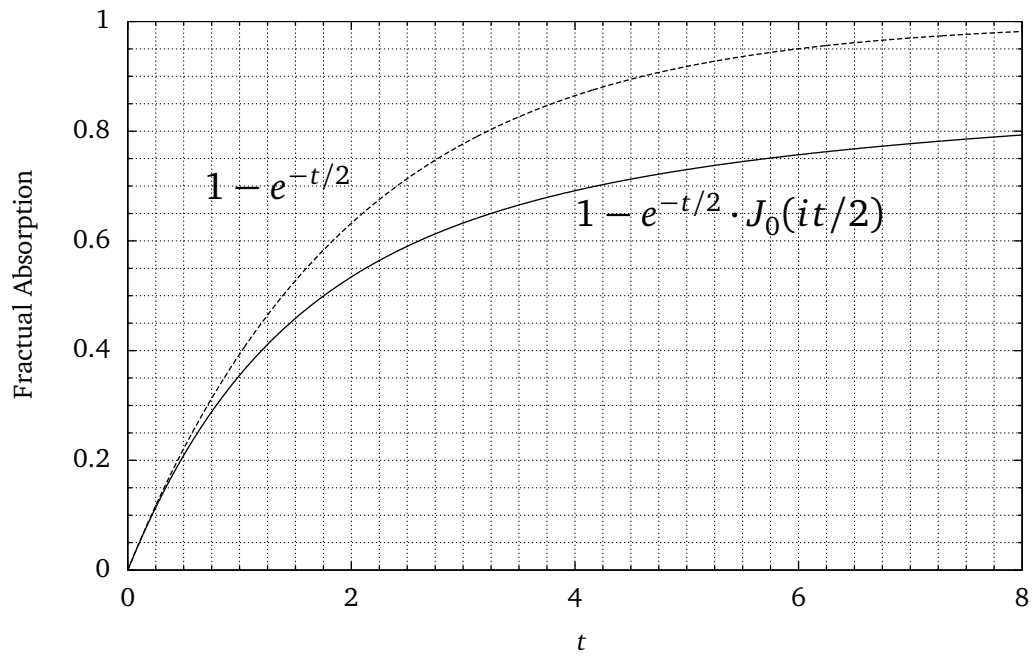


Abbildung 2: Funktion zur Bestimmung der Absorberdicke

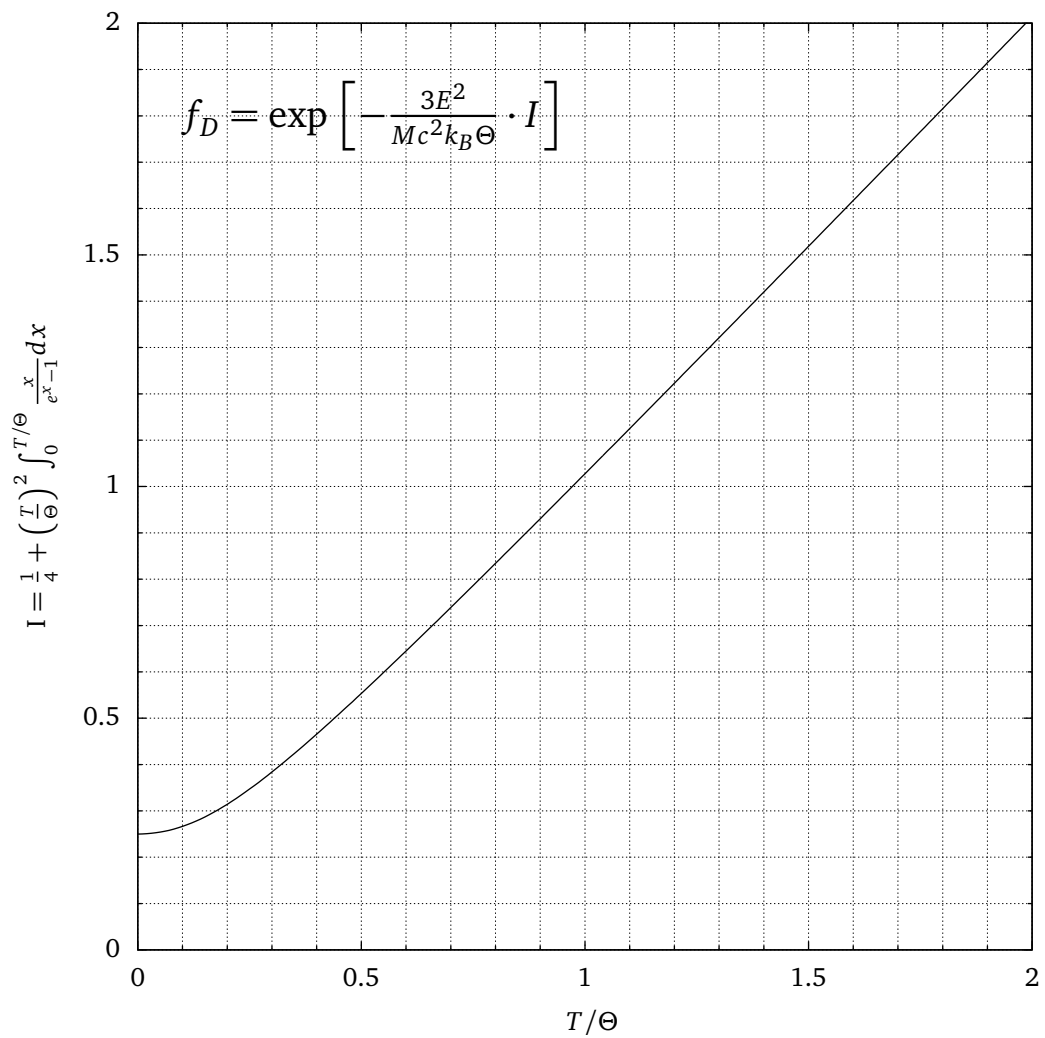


Abbildung 3: Funktion zur Bestimmung des Debye-Waller-Faktors

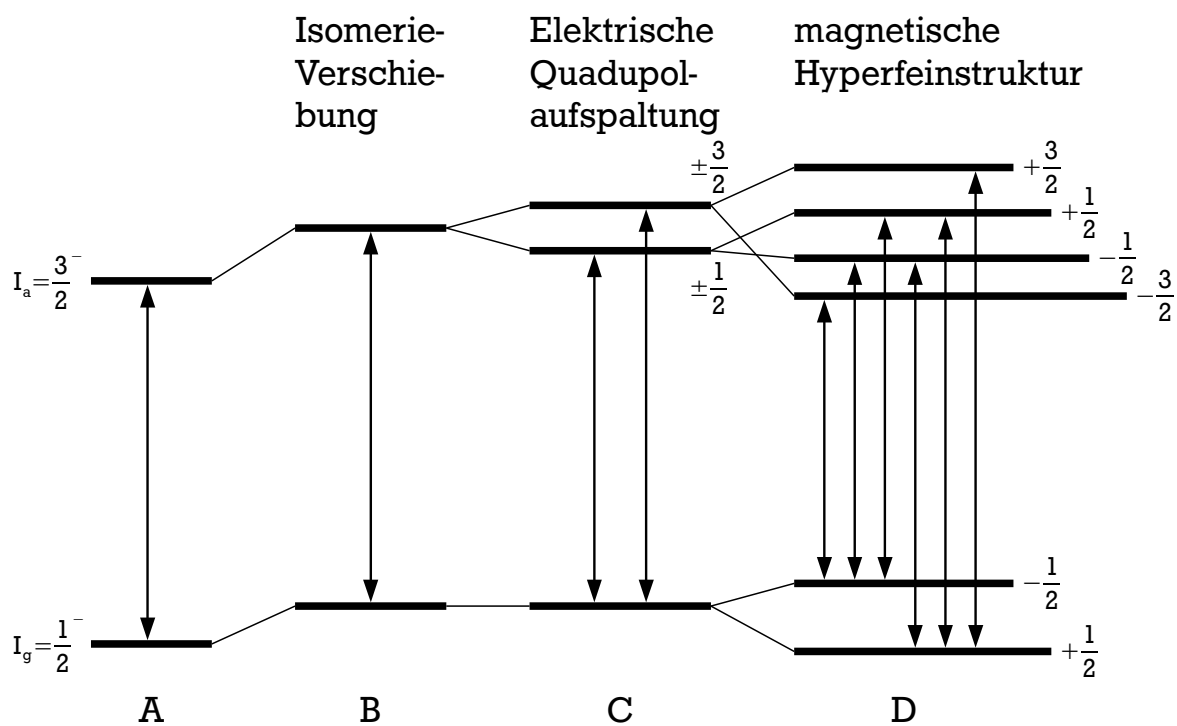


Abbildung 4: Aufspaltung des Grund- und 1. angeregten Zustandes von ^{57}Fe bei Änderung der physikalischen Umgebung.

- A:** in einem diamagnetischen Kristallgitter A auf einem Gitterplatz mit kubischer Punktsymmetrie
- B:** in einem diamagnetischen Kristallgitter B auf einem Gitterplatz mit kubischer Punktsymmetrie
- C:** in einem diamagnetischen Kristallgitter C auf einem nicht-kubischen Gitterplatz
- D:** in einem ferro-, ferri- oder antiferromagnetischen Kristallgitter auf einem kubischen Gitterplatz (oder Kristall A oder B in einem äußeren magnetischen Feld)