

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
2	Elektromagnetische Eigenschaften und Zerfall von Atomkernen .....	11
2.1	Das magnetische Kerndipolmoment .....	11
2.2	Das elektrische Kernquadrupolmoment .....	14
2.3	Der $\gamma$ -Zerfall des Kerns .....	17
2.4	Nachweis von $\gamma$ -Strahlung .....	22
3	Hyperfeinwechselwirkung .....	29
3.1	Magnetische Wechselwirkung .....	29
3.2	Elektrische Wechselwirkung .....	32
4	Mößbauer-Effekt.....	41
4.1	Methode .....	41
4.2	Der Debye-Waller-Faktor .....	44
4.3	Mößbauer-Quellen und Messapparatur .....	50
4.3.1	Mößbauer-Quellen .....	50
4.3.2	Mößbauer-Apparatur .....	53
4.4	Isomeriewerschiebung .....	55
4.4.1	Isomeriewerschiebung und chemische Wertigkeit .....	57
4.4.2	Valenzfluktuationen .....	59
4.5	Elektrische Quadrupolwechselwirkung .....	60
4.6	Magnetische Dipolwechselwirkung .....	63
4.6.1	Magnetisches Hyperfeinfeld im Inneren von Eisen .....	64
4.6.2	Magnetisches Hyperfeinfeld an der (110)-Oberfläche von Eisen .....	66
4.7	Mößbauer-Spektroskopie mit Synchrotronstrahlung .....	68
4.8	Quadratischer Doppler-Effekt .....	71
5	Gestörte $\gamma$ - $\gamma$ -Winkelkorrelation (PAC).....	75
5.1	Theorie der ungestörten $\gamma$ - $\gamma$ -Winkelkorrelation.....	75
5.1.1	Naive Theorie .....	75
5.1.2	Allgemeine Theorie .....	81
5.2	Theorie der gestörten $\gamma$ - $\gamma$ -Winkelkorrelation.....	83
5.3	Berechnung des Störfaktors für Spezialfälle .....	85

5.3.1	Magnetische Dipolwechselwirkung .....	86
5.3.2	Elektrische Quadrupolwechselwirkung .....	87
5.4	PAC-Quellen und Messapparatur .....	89
5.4.1	PAC-Quellen .....	89
5.4.2	Messapparatur .....	93
5.4.3	Elektronische Geräte für die Zeitmessung .....	96
5.5	Elektrische Feldgradienten in nicht-kubischen Festkörpern .....	98
5.6	Theorie des elektrischen Feldgradienten .....	101
5.7	Defekte in Halbleitern .....	103
5.8	Adsorbatplätze auf Oberflächen .....	106
5.9	Innere Magnetfelder in ferromagnetischen Substanzen .....	108
6	Magnetische Kernresonanz (NMR) .....	111
6.1	Methode .....	111
6.2	Klassische Behandlung der NMR (Bloch-Gleichungen) .....	114
6.3	Experimentelle Anordnungen .....	119
6.3.1	Stationäre Methode .....	120
6.3.2	Lock-in Verstärker .....	122
6.3.3	Gepulste Kernresonanz .....	124
6.3.4	Spin-Echo-Methode .....	126
6.4	Chemische Verschiebung .....	127
6.5	Knight-Shift in Metallen .....	132
6.6	Spin-Gitter-Relaxation .....	136
6.6.1	Spin-Gitter-Relaxation durch Bewegung .....	136
6.6.2	Spin-Gitter-Relaxation in Metallen: Korringa-Relation .....	139
6.7	NMR mit radioaktiven Kernen und Selbstdiffusion in Metallen .....	142
6.8	Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) .....	144
7	Myon-Spin-Rotation ( $\mu$ SR) .....	151
7.1	Methode .....	151
7.2	Experimentelle Anordnung .....	153
7.2.1	Myonenstrahl .....	153
7.2.2	Messapparatur .....	154
7.3	Innere <i>B</i> -Felder in magnetischen Substanzen .....	157
7.4	Diffusion des positiven Myons .....	162
7.4.1	Linienverengung durch Bewegung .....	162

	7.4.2	Diffusionsmodelle .....	166
7.5		Myonium in Halbleitern .....	171
	7.5.1	Normales Myonium ( $\mu^+e^-$ ) .....	171
	7.5.2	Zeeman-Bereich (schwaches Magnetfeld) .....	172
	7.5.3	Paschen-Back-Bereich (starkes Magnetfeld) .....	173
	7.5.4	Allgemeine Lösung.....	174
	7.5.5	Präzession des $\mu^+$ -Spins in Myonium .....	175
	7.5.6	Normales Myonium in Germanium.....	176
	7.5.7	Myonium als flacher Donator in CdS.....	178
7.6		Magnetische Eindringtiefe in Hoch- $T_c$ -Supraleitern.....	180
8		Tracer-Methoden mit Radioisotopen .....	183
8.1		Methode.....	183
8.2		Messung der Diffusion mit Radiotracer .....	184
	8.2.1	Grundlagen der Tracer-Diffusion .....	184
	8.2.2	Diffusion von Ag in CdTe .....	185
8.3		Photolumineszenz mit Radiotracer .....	186
	8.3.1	Grundlagen der Photolumineszenz .....	186
	8.3.2	Ag- und Cd-Störstellen in GaN .....	187
8.4		Kapazitäts-Transienten-Spektroskopie (DLTS) mit Radiotracer .....	188
	8.4.1	Grundlagen der DLTS .....	188
	8.4.2	Cr- und V-Störstellen in SiC.....	191
9		Positronenvernichtung .....	193
9.1		Methode.....	193
9.2		Positronenquellen und Messanordnungen .....	195
	9.2.1	Positronenquellen .....	195
	9.2.2	Messanordnungen.....	196
9.3		Annihilationswinkelkorrelation und Fermi-Impuls von Leitungselektronen in Metallen.....	199
9.4		Lebensdauer des Positrons und Gitterdefekte in Metallen .....	201
9.5		Positronen-Emissions-Tomographie (PET) .....	206
10		Neutronenstreuung.....	209
	10.1	Eigenschaften des Neutrons und Produktion von Neutronenstrahlen ....	210
	10.2	Nachweis von Neutronen .....	213
	10.3	Theorie der Neutronenstreuung .....	215

	10.3.1	Streuung an einem Atomkern .....	215
	10.3.2	Neutronenstreuung an kondensierter Materie .....	216
10.4		Elastische Neutronenstreuung .....	221
	10.4.1	Strukturbestimmung .....	221
	10.4.2	Kleinwinkel-Neutronen-Streuung (SANS) .....	226
	10.4.3	Neutronen-Reflektometrie (NR) .....	233
10.5		Quasielastische Neutronenstreuung .....	239
10.6		Inelastische Neutronenstreuung .....	245
11		Ionenstrahlanalytik .....	249
	11.1	Rutherford-Rückstreuung (RBS) .....	249
	11.1.1	Kinematischer Faktor .....	250
	11.1.2	Wirkungsquerschnitt für Rutherford-Streuung .....	252
	11.1.3	Energieverlust in Materie .....	253
	11.1.4	Beschleunigung und Nachweis von geladenen Teilchen .....	255
	11.1.5	Experimente an dünnen Filmen .....	260
	11.1.6	Nachweis der elastisch gestreuten Rückstoßatome (ERDA) .....	265
	11.2	Gitterführung .....	268
	11.2.1	Gitterplatzbestimmung von Fremdatomen in Kristallen .....	272
	11.2.2	Epitaktisches Wachstum .....	275
	11.3	Analyse mittels Kernreaktionen (NRA) .....	276
	11.3.1	Messung von Wasserstoff-Tiefenprofilen mit der $^{15}\text{N}$ -Methode .....	277
	11.3.2	Interdiffusion von Polymeren detektiert mit der $^2\text{H}(^3\text{He}, ^4\text{He})^1\text{H}$ Kernreaktion .....	281
	11.3.3	Zusammenstellung einiger Kernreaktionen für die NRA-Methode .....	285
Anhang		.....	287
	A1	Clebsch-Gordan-Koeffizienten und $3j$ -Symbole .....	287
	A2	Sphärische Tensoren .....	288
	A3	Wigner-Eckart-Theorem .....	290
	A4	Literaturverzeichnis .....	291
Sachverzeichnis		.....	299