

Nukleare Festkörperphysik

Von Prof. Dr. rer. nat. Günter Schatz
Universität Konstanz

und Prof. Dr. rer. nat. Alois Weidinger
Hahn-Meitner-Institut GmbH, Berlin

2., neubearbeitete und erweiterte Auflage
Mit 192 Figuren



B.G. Teubner Stuttgart 1992

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Elektromagnetische Eigenschaften und Zerfall von Atomkernen	11
2.1	Das magnetische Kerndipolmoment	11
2.2	Das elektrische Kernquadrupolmoment	15
2.3	Der γ -Zerfall des Kern	18
2.4	Nachweis von γ -Strahlung	24
3	Hyperfeinwechselwirkung	31
3.1	Magnetische Wechselwirkung	31
3.2	Elektrische Wechselwirkung	35
4	Mößbauer-Effekt	44
4.1	Methode	44
4.2	Der Debye-Waller-Faktor	47
4.3	Mößbauer-Quellen und Meßapparatur	55
4.3.1	Mößbauer-Quellen	55
4.3.2	Mößbauer-Apparatur	58
4.4	Isomerieverschiebung	61
4.4.1	Isomerieverschiebung und chemische Wertigkeit	63
4.4.2	Valenzfluktuationen	65
4.5	Elektrische Quadrupolwechselwirkung	67
4.6	Magnetische Dipolwechselwirkung	70
4.6.1	Magnetisches Hyperfeinfeld im Inneren von Eisen	71
4.6.2	Magnetisches Hyperfeinfeld an der (110)-Oberfläche von Eisen	73
4.7	Quadratischer Doppler-Effekt	75
5	Gestörte $\gamma\gamma$-Winkelkorrelation (PAC)	78
5.1	Theorie der ungestörten $\gamma\gamma$ -Winkelkorrelation	78
5.1.1	Naive Theorie	79
5.1.2	Allgemeine Theorie	85
5.2	Theorie der gestörten $\gamma\gamma$ -Winkelkorrelation	87
5.3	Berechnung des Störfaktors für Spezialfälle	90

5.3.1	Magnetische Dipolwechselwirkung	91
5.3.2	Elektrische Quadrupolwechselwirkung	93
5.4	PAC-Quellen und Meßapparatur	95
5.4.1	PAC-Quellen	95
5.4.2	Meßapparatur	98
5.4.3	Elektronische Geräte für die Zeitmessung	102
5.5	Elektrische Feldgradienten in nicht-kubischen Metallen	104
5.6	Atomare Defekte in Metallen	108
5.7	Adsorbatplätze auf Oberflächen	112
5.8	Innere Magnetfelder in ferromagnetischen Substanzen	114
5.9	Integrale gestörte Winkelkorrelation (IPAC) und transiente Magnetfelder in Ferromagneten	116
6	Magnetische Kernresonanz (NMR)	121
6.1	Methode	121
6.2	Klassische Behandlung der NMR (Bloch-Gleichungen)	125
6.3	Experimentelle Anordnungen	132
6.3.1	Stationäre Methode	133
6.3.2	Lock-in-Verstärker	136
6.3.3	Gepulste Kernresonanz	138
6.3.4	Spin-Echo-Methode	141
6.4	Chemische Verschiebung	142
6.5	Knight-Shift in Metallen	147
6.6	Spin-Gitter-Relaxation	152
6.6.1	Spin-Gitter-Relaxation durch Bewegung	153
6.6.2	Spin-Gitter-Relaxation in Metallen: Korringa-Relation	156
6.7	NMR mit radioaktiven Kernen und Selbstdiffusion in Metallen	160
7	Kernorientierung (NO)	164
7.1	Methode	164
7.2	Experimentelle Anordnung	166
7.2.1	$^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkryostat	167

7.2.2	Radioaktive Quellen für die Kernorientierung	169
7.2.3	Magnetische Kernresonanz an orientierten Kernen (NMR/NO)	170
7.3	Hyperfeinfelder	171
7.4	Spin-Gitter-Relaxation bei tiefen Temperaturen	172
8	Myon-Spin-Rotation (μSR)	176
8.1	Methode	176
8.2	Experimentelle Anordnung	178
8.2.1	Myonenstrahl	178
8.2.2	Meßapparatur	180
8.3	Innere <i>B</i> -Felder in magnetischen Substanzen	183
8.4	Diffusion des positiven Myons	189
8.4.1	Linienverengung durch Bewegung	189
8.4.2	Einfang an Gitterdefekten	194
8.4.3	Diffusionsmodelle	197
8.5	Myonium in Halbleitern	202
8.5.1	Normales Myonium	203
8.5.2	Zeeman-Bereich (schwaches Magnetfeld)	204
8.5.3	Paschen-Back-Bereich (starkes Magnetfeld)	205
8.5.4	Allgemeine Lösung	206
8.5.5	Präzession des μ^+ -Spins im Myonium	208
9	Positronenvernichtung	211
9.1	Methode	211
9.2	Positronenquellen und Meßanordnungen	213
9.2.1	Positronenquellen	213
9.2.2	Meßanordnungen	215
9.3	Annihilationswinkelkorrelation und Fermi-Impuls von Leitungselektronen in Metallen	217
9.4	Lebensdauer des Positrons und Gitterdefekte in Metallen	220
10	Neutronenstreuung	226
10.1	Eigenschaften des Neutrons und Produktion von Neutronenstrahlen	227
10.2	Nachweis von Neutronen	230
10.3	Theorie der Neutronenstreuung	233

10.3.1	Streuung an einem Atomkern	233
10.3.2	Neutronenstreuung an kondensierter Materie	235
10.4	Elastische Neutronenstreuung	240
10.5	Quasielastische Neutronenstreuung	246
10.6	Inelastische Neutronenstreuung	254
11	Ionenstrahlanalytik	258
11.1	Rutherford-Rückstreuung (RBS)	259
11.1.1	Kinematischer Faktor	260
11.1.2	Wirkungsquerschnitt für Rutherford- Streuung	262
11.1.3	Energieverlust in Materie	264
11.1.4	Beschleunigung und Nachweis von geladenen Teilchen	266
11.1.5	Experimente an dünnen Filmen	273
11.1.6	Nachweis der elastisch gestreuten Rückstoßatome (ERDA)	279
11.2	Gitterführung	282
11.2.1	Gitterplatzbestimmung von Fremdatomen in Kristallen	287
11.2.2	Epitaktisches Wachstum	290
11.3	Analyse mittels Kernreaktionen (NRA)	292
11.3.1	Messung von Wasserstoff-Tiefenprofilen mit der ^{15}N -Methode	293
11.3.2	Interdiffusion von Polymeren detektiert mit der $^2\text{H}(^3\text{He}, ^4\text{He})^1\text{H}$ Kernreaktion	298
11.3.3	Zusammenstellung einiger Kernreaktionen für die NRA-Methode	303
Anhang	306
A.1	Clebsch-Gordan-Koeffizienten und $3j$ -Symbole	306
A.2	Sphärische Tensoren	308
A.3	Wigner-Eckart-Theorem	310
A.4	Weiterführende Literatur zu den einzelnen Kapiteln ...	311
A.5	Literaturverzeichnis	313
Sachverzeichnis	320