

Inhalt

1	Einführung	21
2	Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie	29
2.1	Streuung, Absorption und Reflexion	29
2.1.1	Grundlagen	30
2.1.2	Streuung an freien und gebundenen Elektronen	32
2.1.3	Oszillatorstärke, Zusammenhang mit Einsteinkoeffizienten und Summenregeln	36
2.1.4	Wellenausbreitung und Brechungsindex	37
2.1.5	Brechung und Reflexion an Grenzflächen	39
2.1.6	Streifender Einfall und Totalreflexion	42
2.1.7	Inelastische Streuung	46
2.1.8	Absorption elektromagnetischer Wellen	48
2.1.9	Sekundärprozesse	50
2.2	Beugung	55
2.2.1	Grundlagen	55
2.2.2	Die kinematische Näherung und Röntgenstrukturanalyse	58
2.2.3	Der reziproke Raum	60
2.2.4	Niederdimensionale Strukturen	62
2.2.5	Experimentelle Optionen für Beugungsexperimente	63
2.2.6	Diffuse Streuung	64
2.2.7	Dynamische Röntgenbeugung	69
3	Synchrotronstrahlung: Erzeugung, Eigenschaften und Instrumentierung	77
3.1	Synchrotronstrahlungsquellen	77
3.1.1	Einleitung	77
3.1.2	Erzeugung von Synchrotronstrahlung	78
3.1.3	Wichtige Eigenschaften von Synchrotronstrahlungsquellen	83
3.1.4	Beispiele für moderne Synchrotronstrahlungsquellen	88
3.2	Wiggler und Undulatoren	92
3.2.1	Einleitung	92
3.2.2	Erzeugung von Synchrotronstrahlung	94
3.2.3	Dipolmagnet	95
3.2.4	Wiggler	97

3.2.5	Undulatoren	99
3.2.6	Neuere Konzepte für Undulatoren	109
3.3	Strahlführungen für Synchrotronstrahlung	112
3.3.1	Optische Elemente für Synchrotronstrahlung	114
3.4	Instrumentierung von Synchrotronstrahlungsexperimenten	124
3.4.1	Experimente im Vakuum-Ultraviolett	125
3.4.2	Experimente im Röntgenbereich	138
3.4.3	Detektoren zum Nachweis von Photonen	141
4	Spektroskopische Methoden	157
4.1	Absorptionsspektroskopie	157
4.1.1	Grundlagen der Absorptionsspektroskopie	157
4.1.2	Röntgenabsorption zur Strukturanalyse (EXAFS)	172
4.2	Photoelektronenspektroskopie	184
4.2.1	Grundlagen der Photoemission	184
4.2.2	Photoelektronenspektroskopie an Atomen, Molekülen und Festkörpern . . .	186
4.2.3	Winkelintegrierte und winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie . . .	189
4.2.4	Analysatoren und Detektoren	193
4.2.5	Synchrotronstrahlung für winkelauflösende Photoemission	202
4.3	Resonante inelastische Röntgenstreuung	206
4.3.1	Inelastische Streuung von Photonen	206
4.3.2	Streuungsquerschnitt und Streumodell	209
4.3.3	Partielle elektronische Zustandsdichte und atomspezifische Projektion . . .	211
5	Röntgenbeugungsmethoden	215
5.1	Oberflächenröntgenbeugung	215
5.1.1	LEED-Oberflächenkoordinaten	216
5.1.2	Berechnung von Beugungsintensitäten	217
5.1.3	Das Phasenproblem der Beugungsmethoden und die Patterson-Funktion . .	222
5.1.4	Modellverfeinerung	223
5.2	Diffraktometrie an polykristallinen Materialien	226
5.2.1	Hochauflösende Diffraktometrie zur Strukturanalyse	227
5.2.2	Orientierungsstatistik und Textur	228
5.2.3	Spannungsanalyse und Kinetik	230
5.2.4	Instrumentierung und ortsauflöste Messungen	231
5.3	Die magnetische Röntgenbeugung	233
5.3.1	Magnetische Streuprozesse	234
5.3.2	Resonante Röntgenstreuung	234
5.3.3	Resonante Austauschstreuung	238
5.4	Stehende Röntgenwellenfelder	240
5.4.1	Messprinzip	240
5.4.2	Kohärente Position und Fraktion	242

Inhalt	13
5.4.3	Interpretation 244
5.5	Röntgen-Kleinwinkelstreuung 247
5.5.1	Anomale Röntgenstreuung 248
5.5.2	Kontrastmechanismen 249
5.5.3	Die Einteilchenstreuungsfunktion und invariantes Streuvolumen 251
5.5.4	Kleinwinkelstreuung mit Synchrotronstrahlung 257
5.5.5	Beispiel räumliche Verteilung von Strontium-Gegenionen in wässrigen Polyakrylatlösungen 258
5.5.6	Experimenteller Aufbau 262
6	Anwendungsbeispiele 267
6.1	Atome, Moleküle und Cluster 267
6.1.1	Zwei-Elektronen-Korrelationen in Helium-Atomen 267
6.1.2	Kohärente Elektronenemission 275
6.1.3	Elektronische Anregungen in Clustern: Vom Atom zum Festkörper 282
6.1.4	Photochemische Prozesse in Clustern 289
6.1.5	Atomare Struktur von Clustern 297
6.1.6	Anregung innerer Elektronen kleiner Moleküle in der Gasphase 304
6.2	Kondensierte Materie 313
6.2.1	Bindung kleiner Moleküle auf Oberflächen 313
6.2.2	Die Wechselwirkung von Kohlenmonoxid mit Metalloberflächen 317
6.2.3	Geordnete Oxidation: Sauerstoff auf Cu(110) 320
6.2.4	Kreuzfahrt durch den reziproken Raum von $TiTe_2$ 328
6.2.5	Die elektronische Struktur von Kohlenstoff-Nanoröhren 335
6.2.6	Die chemische Zusammensetzung von Nanostrukturen 343
6.2.7	Ge- δ -Schichten: Nachweis und Herstellung vergrabener Halbleiterschichten . 352
6.2.8	Strukturelle Phasenübergänge im Bereich zwischen Oberfläche und Kristall- innerem 359
6.2.9	Elementspezifische magnetische Ordnung in Mischkristallen 366
6.2.10	Entmischungskinetik einer Kupfer-Kobalt-Legierung 373
6.2.11	Kristallstrukturbestimmung von Molekulkristallen 380
6.2.12	Elektronische Ladungsdichteverteilung und chemische Bindung in Cuprit . 386
6.2.13	Strukturbestimmung amorpher und fluider Systeme 391
6.2.14	Festigkeitsbestimmende Strukturen in Polymerfolien und Fasern 397
6.2.15	Textur und Rekrystallisation in gewalzten Blechen bei Wärmebehandlung . 406
6.3	Biologie und Medizin 411
6.3.1	Phasenübergänge in Lipid/Wasser-Suspensionen 411
6.3.2	Struktur des Motorproteins Kinesin 418
6.3.3	Abbildung menschlicher Knochenstruktur in der Osteoporoseforschung . . . 428
6.3.4	Räumliche Abbildung der Verteilung von Spurenelementen auf mikroskopi- schem Niveau: Wo sitzt das Blei in menschlichen Knochen? 433

7	Eine neue Generation: Freie-Elektronen-Laser	441
7.1	Einleitung	441
7.2	Von der Synchrotronstrahlung zum Freie-Elektronen-Laser	444
7.2.1	Das SASE-Prinzip	446
7.2.2	Freie-Elektronen-Laser mit vollständiger zeitlicher Kohärenz - das Seeding	448
7.3	Eigenschaften, Charakterisierung der FEL-Strahlung des VUV-FEL-FLASH	450
7.3.1	Technische Details des Freie-Elektronen-Lasers FLASH bei DESY	450
7.3.2	Charakterisierung der FEL-Strahlung	451
7.3.3	Erste Experimente	456
7.3.4	Ausblick	461
	Abkürzungsverzeichnis	467
	Autorenverzeichnis	471
	Fundamental-Konstanten in SI-Einheiten	474
	Energie-Umrechnungstabelle	475
	Sachverzeichnis	476