

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Einleitung

1.1	Inhalt und Bedeutung der Atomphysik .....	1
1.2	Moleküle: Grundbausteine der Natur .....	2
1.3	Festkörperphysik und ihre technische Bedeutung .....	3
1.4	Überblick über das Konzept des Lehrbuches .....	4

## 2. Entwicklung der Atomvorstellung

2.1	Historische Entwicklung .....	7
2.2	Experimentelle und theoretische Hinweise auf die Existenz von Atomen .....	9
2.2.1	Daltons Gesetz der konstanten Proportionen .....	9
2.2.2	Gesetze von Gay-Lussac und der Begriff des Mols .....	10
2.2.3	Experimentelle Methoden zur Bestimmung der Avogadro-Konstanten .....	12
2.2.4	Die Bedeutung der kinetischen Gastheorie für die Atomvorstellung .....	17
2.3	Kann man Atome sehen? .....	17
2.3.1	Brown'sche Molekularbewegung .....	18
2.3.2	Nebelkammer .....	22
2.3.3	Mikroskope mit atomarer Auflösung .....	22
2.4	Bestimmung der Atomgröße .....	27
2.4.1	Bestimmung von Atomgrößen aus dem Kovolumen der van-der-Waals-Gleichung .....	27
2.4.2	Abschätzung der Atomgrößen aus den Transportkoeffizienten in Gasen .....	27
2.4.3	Beugung von Röntgenstrahlung an Kristallen .....	29
2.4.4	Vergleich der Methoden zur Atomgrößenbestimmung ....	29
2.5	Der elektrische Aufbau von Atomen .....	30
2.5.1	Kathoden- und Kanalstrahlen .....	31
2.5.2	Messung der Elementarladung .....	32
2.5.3	Erzeugung freier Elektronen .....	33
2.5.4	Erzeugung freier Ionen .....	35
2.5.5	Bestimmung der Elektronenmasse .....	38
2.5.6	Wie neutral ist ein Atom? .....	40
*2.6	Elektronen- und Ionenoptik .....	41
2.6.1	Brechungsgesetz für Elektronenstrahlen .....	41
2.6.2	Elektronenbahnen in axialsymmetrischen Feldern .....	42

2.6.3	Elektrostatische Elektronenlinsen .....	45
2.6.4	Magnetische Linsen .....	46
2.6.5	Anwendungen der Elektronen- und Ionenoptik .....	48
2.7	Bestimmung der Atommassen; Massenspektrometer .....	49
2.7.1	Überblick .....	49
2.7.2	Parabelspektrograph von J. J. Thomson .....	49
2.7.3	Geschwindigkeitsfokussierung .....	51
2.7.4	Richtungsfokussierung .....	52
2.7.5	Massenspektrometer mit doppelter Fokussierung .....	53
2.7.6	Flugzeit-Massenspektrometer .....	54
2.7.7	Quadrupol-Massenspektrometer .....	56
2.7.8	Ionen-Zyklotron-Resonanz-Spektrometer .....	59
2.7.9	Isotope .....	61
2.8	Die Struktur von Atomen .....	61
2.8.1	Streuversuche; integraler und differentieller Streuquerschnitt .....	61
2.8.2	Grundlagen der klassischen Streutheorie .....	63
2.8.3	Bestimmung der Ladungsverteilung im Atom aus Streuexperimenten .....	67
2.8.4	Das Thomson'sche Atommodell .....	67
2.8.5	Rutherford'sches Atommodell .....	70
2.8.6	Rutherford'sche Streuformel .....	70
	Zusammenfassung .....	72
	Übungsaufgaben .....	73

### 3. Entwicklung der Quantenphysik

3.1	Experimentelle Hinweise auf den Teilchencharakter elektromagnetischer Strahlung .....	77
3.1.1	Hohlraumstrahlung .....	78
3.1.2	Das Planck'sche Strahlungsgesetz .....	79
3.1.3	Wien'sches Verschiebungsgesetz .....	82
3.1.4	Das Stefan-Boltzmann'sche Strahlungsgesetz .....	83
3.1.5	Photoelektrischer Effekt .....	84
3.1.6	Compton-Effekt .....	86
3.1.7	Eigenschaften des Photons .....	88
3.1.8	Photonen im Gravitationsfeld .....	89
3.1.9	Wellen- und Teilchenbeschreibung von Licht .....	89
3.2	Der Wellencharakter von Teilchen .....	92
3.2.1	Die de Broglie-Wellenlänge und Elektronenbeugung .....	92
3.2.2	Beugung und Interferenz von Atomen .....	93
3.2.3	Bragg-Reflexion und Neutronenspektrometer .....	95
3.2.4	Neutronen-Interferometrie .....	95
3.2.5	Anwendungen der Welleneigenschaften von Teilchen ....	96
3.3	Materiewellen und Wellenfunktionen .....	97
3.3.1	Wellenpakete .....	97
3.3.2	Statistische Deutung der Wellenfunktion .....	99
3.3.3	Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation .....	101

3.3.4	Das Auseinanderlaufen eines Wellenpaketes .....	104
3.3.5	Unbestimmtheitsrelation für Energie und Zeit .....	104
3.4	Die Quantenstruktur der Atome .....	106
3.4.1	Atomspektren .....	106
3.4.2	Das Bohr'sche Atommodell .....	108
3.4.3	Die Stabilität der Atome .....	111
3.4.4	Franck-Hertz-Versuch .....	112
3.5	Was unterscheidet die Quantenphysik von der klassischen Physik? .....	114
3.5.1	Klassische Teilchenbahnen gegen Wahrscheinlichkeitsdichten der Quantenphysik ....	114
3.5.2	Interferenzerscheinungen bei Licht- und Materiewellen .....	115
3.5.3	Die Rolle des Messprozesses .....	118
3.5.4	Die Bedeutung der Quantenphysik für unser Naturverständnis .....	119
	Zusammenfassung .....	121
	Übungsaufgaben .....	122

#### 4. Grundlagen der Quantenmechanik

4.1	Die Schrödingergleichung .....	123
4.2	Anwendungsbeispiele der stationären Schrödingergleichung .....	125
4.2.1	Das freie Teilchen .....	125
4.2.2	Potentialstufe .....	126
4.2.3	Tunneleffekt .....	129
4.2.4	Teilchen im Potentialkasten .....	132
4.2.5	Harmonischer Oszillator .....	134
4.3	Mehrdimensionale Probleme .....	137
4.3.1	Teilchen im zweidimensionalen Potentialkasten .....	137
4.3.2	Teilchen im kugelsymmetrischen Potential .....	139
*4.4	Operatoren, Erwartungswerte und Eigenfunktionen .....	142
4.4.1	Operatoren und Eigenwerte .....	143
4.4.2	Der Drehimpuls in der Quantenmechanik .....	145
	Zusammenfassung .....	148
	Übungsaufgaben .....	149

#### 5. Das Wasserstoffatom

5.1	Schrödingergleichung für Einelektronen-Atome .....	151
5.1.1	Trennung von Schwerpunkt- und Relativbewegung .....	151
5.1.2	Lösung der Radialgleichung .....	153
5.1.3	Quantenzahlen und Wellenfunktionen des H-Atoms .....	155
5.1.4	Aufenthaltswahrscheinlichkeiten und Erwartungswerte des Elektrons in verschiedenen Quantenzuständen .....	157
5.2	Normaler Zeeman-Effekt .....	160
5.3	Vergleich der Schrödinger-Theorie mit den experimentellen Befunden .....	163
*5.4	Relativistische Korrektur der Energieterme .....	165

5.5	Elektronenspin .....	167
5.5.1	Stern-Gerlach-Experiment .....	167
5.5.2	Einstein-de-Haas-Effekt .....	168
5.5.3	Spin-Bahn-Kopplung; Feinstruktur .....	169
5.5.4	Anomaler Zeeman-Effekt .....	172
5.6	Hyperfeinstruktur .....	175
5.7	Vollständige Beschreibung des Wasserstoffatoms .....	178
5.7.1	Gesamtwellenfunktion und Quantenzahlen .....	178
5.7.2	Termbezeichnung und Termschema .....	178
5.7.3	Lamb-Verschiebung .....	181
5.8	Korrespondenzprinzip .....	185
5.9	Das Modell des Elektrons und seine Probleme .....	186
	Zusammenfassung .....	188
	Übungsaufgaben .....	189

## 6. Atome mit mehreren Elektronen

6.1	Das Heliumatom .....	191
6.1.1	Näherungsmodelle .....	192
6.1.2	Symmetrie der Wellenfunktion .....	193
6.1.3	Berücksichtigung des Elektronenspins .....	194
6.1.4	Das Pauliprinzip .....	195
6.1.5	Termschema des Heliumatoms .....	196
6.1.6	Heliumspektrum .....	197
6.2	Aufbau der Elektronenhüllen größerer Atome .....	198
6.2.1	Das Schalenmodell der Atomhüllen .....	199
6.2.2	Sukzessiver Aufbau der Atomhüllen mit steigender Kernladungszahl .....	200
6.2.3	Atomvolumen und Ionisierungsenergien .....	202
6.2.4	Das Periodensystem der Elemente .....	203
6.3	Alkaliatome .....	207
6.4	Theoretische Modelle von Mehrelektronen-Atomen .....	209
6.4.1	Modell unabhängiger Elektronen .....	209
6.4.2	Das Hartree-Verfahren .....	210
*6.5	Elektronenkonfigurationen und Drehimpulskopplungen .....	211
6.5.1	Kopplungsschemata für die Elektronendrehimpulse .....	211
6.5.2	Elektronenkonfiguration und Atomzustände leichter Atome .....	216
6.6	Angeregte Atomzustände .....	219
6.6.1	Einfachanregung .....	219
6.6.2	Anregung mehrerer Elektronen, Autoionisation .....	220
6.6.3	Innerschalenanregung, Auger-Prozess .....	220
6.6.4	Rydbergzustände .....	221
6.6.5	Planetarische Atome .....	223
6.6.6	Atom-Ionen .....	224
6.7	Exotische Atome .....	225
6.7.1	Myonische Atome .....	225
6.7.2	Pionische und kaonische Atome .....	227

6.7.3	Antiwasserstoff .....	227
6.7.4	Positronium und Myonium .....	228
	Zusammenfassung .....	229
	Übungsaufgaben .....	230
<b>7.</b>	<b>Emission und Absorption elektromagnetischer Strahlung durch Atome</b>	
7.1	Übergangswahrscheinlichkeiten .....	233
7.1.1	Induzierte und spontane Übergänge; Einstein-Koeffizienten .....	233
7.1.2	Übergangswahrscheinlichkeiten und Matrixelemente .....	236
7.1.3	Messung relativer Übergangswahrscheinlichkeiten .....	237
7.1.4	Übergangswahrscheinlichkeiten für Absorption und induzierte Emission .....	238
7.2	Auswahlregeln .....	238
7.2.1	Auswahlregeln für die magnetische Quantenzahl .....	239
7.2.2	Paritätsauswahlregeln .....	240
7.2.3	Auswahlregeln für die Spinquantenzahl .....	241
7.2.4	Multipol-Übergänge höherer Ordnung .....	242
7.3	Lebensdauern angeregter Zustände .....	244
7.4	Linienbreiten der Spektrallinien .....	246
7.4.1	Natürliche Linienbreite .....	246
7.4.2	Doppler-Verbreiterung .....	249
7.4.3	Stoßverbreiterung von Spektrallinien .....	251
7.5	Röntgenstrahlung .....	253
7.5.1	Bremsstrahlung .....	254
7.5.2	Charakteristische Röntgenstrahlung .....	256
7.5.3	Absorption und Streuung von Röntgenstrahlung .....	256
7.5.4	Röntgenfluoreszenz .....	261
7.5.5	Messung von Röntgenwellenlängen .....	261
7.5.6	Röntgen-Optik .....	263
7.6	Kontinuierliche Absorptions- und Emissionsspektren .....	264
7.6.1	Photoionisation .....	264
7.6.2	Rekombinationsstrahlung .....	266
	Zusammenfassung .....	268
	Übungsaufgaben .....	269
<b>8.</b>	<b>Laser</b>	
8.1	Physikalische Grundlagen .....	271
8.1.1	Schwellwertbedingung .....	272
8.1.2	Erzeugung der Besetzungsinversion .....	273
8.1.3	Frequenzverteilung der induzierten Emission .....	275
8.2	Optische Resonatoren .....	276
8.2.1	Offene optische Resonatoren .....	276
8.2.2	Moden des offenen Resonators .....	277
8.2.3	Beugungsverluste offener Resonatoren .....	279
8.2.4	Das Frequenzspektrum optischer Resonatoren .....	280

8.3	Einmodenlaser .....	281
8.4	Verschiedene Lasertypen .....	282
8.4.1	Festkörperlaser .....	283
8.4.2	Halbleiterlaser .....	284
8.4.3	Farbstofflaser .....	285
8.4.4	Gaslaser .....	287
8.5	Erzeugung kurzer Laserpulse .....	289
8.5.1	Güteschaltung von Laserresonatoren .....	289
8.5.2	Modengekoppelte Pulse .....	290
8.5.3	Optische Pulskompression .....	292
8.5.4	Vorstoß in den Attosekunden-Bereich .....	293
	Zusammenfassung .....	294
	Übungsaufgaben .....	295

## 9. Moleküle

9.1	Das $H_2^+$ -Molekülion .....	297
9.1.1	Ansatz zur exakten Lösung für das starre Molekül .....	298
9.1.2	Molekülorbitale und die LCAO-Näherung .....	300
9.1.3	Verbesserungen des LCAO-Ansatzes .....	303
9.2	Das $H_2$ -Molekül .....	304
9.2.1	Molekülorbitalnäherung .....	304
9.2.2	Heitler-London-Näherung .....	306
9.2.3	Vergleich beider Näherungen .....	306
9.2.4	Verbesserungen der Näherung .....	307
9.3	Elektronische Zustände zweiatomiger Moleküle .....	308
9.3.1	Molekülorbitalkonfigurationen .....	309
9.3.2	Angeregte Molekülzustände .....	310
9.3.3	Excimere .....	312
9.3.4	Korrelationsdiagramme .....	313
9.4	Die physikalischen Ursachen der Molekülbindung .....	314
9.4.1	Chemische Bindung .....	314
9.4.2	Multipolentwicklung .....	315
9.4.3	Induzierte Dipolmomente und van-der-Waals-Potential ...	317
9.4.4	Allgemeine Potentialentwicklung .....	318
9.4.5	Bindungstypen .....	319
9.5	Rotation und Schwingung zweiatomiger Moleküle .....	320
9.5.1	Born-Oppenheimer-Näherung .....	320
9.5.2	Der starre Rotator .....	321
9.5.3	Zentrifugalaufweitung .....	322
9.5.4	Der Einfluss der Elektronenbewegung .....	323
9.5.5	Schwingung zweiatomiger Moleküle .....	325
9.5.6	Schwingungs-Rotations-Wechselwirkung .....	326
9.5.7	Rotationsbarriere .....	328
9.6	Spektren zweiatomiger Moleküle .....	328
9.6.1	Das Übergangsmatrixelement .....	328
9.6.2	Schwingungs-Rotations-Übergänge .....	330
9.6.3	Die Struktur elektronischer Übergänge .....	331

9.6.4	Franck-Condon-Prinzip .....	334
9.6.5	Kontinuierliche Spektren .....	335
*9.7	Elektronische Zustände mehratomiger Moleküle .....	337
9.7.1	Das H <sub>2</sub> O-Molekül .....	337
9.7.2	Hybridisierung .....	338
9.7.3	Das CO <sub>2</sub> -Molekül .....	342
9.7.4	Walsh-Diagramm .....	343
9.7.5	Das NH <sub>3</sub> -Molekül .....	344
9.7.6	$\pi$ -Elektronensysteme .....	344
9.8	Rotation mehratomiger Moleküle .....	346
9.8.1	Rotation symmetrischer Kreiselmoleküle .....	346
9.8.2	Asymmetrische Kreiselmoleküle .....	347
9.9	Schwingungen mehratomiger Moleküle .....	348
9.9.1	Normalschwingungen .....	349
9.9.2	Quantitative Behandlung .....	349
9.10	Chemische Reaktionen .....	352
9.10.1	Reaktionen erster Ordnung .....	352
9.10.2	Reaktionen zweiter Ordnung .....	353
9.10.3	Exotherme und endotherme Reaktionen .....	353
9.10.4	Die Bestimmung der absoluten Reaktionsraten .....	355
9.11	Moleküldynamik und Wellenpakete .....	356
	Zusammenfassung .....	357
	Übungsaufgaben .....	359

## 10. Experimentelle Methoden der Atom- und Molekülphysik

10.1	Spektroskopische Verfahren .....	362
10.1.1	Mikrowellenspektroskopie .....	363
10.1.2	Fourierspektroskopie .....	364
10.1.3	Klassische Emissions- und Absorptionsspektroskopie ....	367
10.1.4	Ramanspektroskopie .....	369
10.2	Laserspektroskopie .....	370
10.2.1	Laser-Absorptionsspektroskopie .....	371
10.2.2	Optoakustische Spektroskopie .....	371
10.2.3	Laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie .....	372
10.2.4	Resonante Zweistufen-Photoionisation .....	373
10.2.5	Laserspektroskopie in Molekularstrahlen .....	374
10.2.6	Nichtlineare Absorption .....	375
10.2.7	Sättigungsspektroskopie .....	376
10.2.8	Dopplerfreie Zweiphotonenabsorption .....	378
10.3	Messung magnetischer und elektrischer Momente von Atomen und Molekülen .....	379
10.3.1	Die Rabi-Methode .....	380
10.3.2	Stark-Spektroskopie .....	381
10.4	Elektronenspektroskopie .....	382
10.4.1	Elektronenstreuversuche .....	382
10.4.2	Photoelektronenspektroskopie .....	383

10.5	Molekül-Atom-Streuung .....	385
10.5.1	Elastische Streuung .....	385
10.5.2	Inelastische Streuung .....	387
10.5.3	Reaktive Streuung .....	388
10.6	Zeitaufgelöste Messungen an Atomen und Molekülen .....	389
10.6.1	Lebensdauermessungen .....	389
10.6.2	Zeitaufgelöste Messungen der Moleküldynamik .....	391
10.6.3	Energietransferprozess .....	392
10.7	Optisches Kühlen und Speichern von Atomen .....	393
10.8	Atom-Interferometrie .....	396
10.9	Präzisions-Frequenzmessungen .....	398
	Zusammenfassung .....	400
	Übungsaufgaben .....	401

## 11. Die Struktur fester Körper

11.1	Die Struktur von Einkristallen .....	404
11.1.1	Symmetrien von Raumgittern .....	405
11.1.2	Bravaisgitter .....	406
11.1.3	Kristallstrukturen .....	409
11.1.4	Gitterebenen .....	412
11.2	Das reziproke Gitter .....	413
11.3	Experimentelle Methoden zur Strukturbestimmung .....	415
11.3.1	Bragg-Reflexion .....	415
11.3.2	Laue-Beugung .....	416
11.3.3	Beziehung zwischen Lauebedingung und Bragg-Bedingung .....	418
11.3.4	Debye-Scherrer-Verfahren .....	419
11.4	Genauere Behandlung der Röntgenbeugung .....	419
11.4.1	Streuamplitude und Streufaktor .....	420
11.4.2	Der atomare Streufaktor .....	422
11.4.3	Debye-Waller-Faktor .....	423
11.5	Reale Kristalle .....	423
11.5.1	Leerstellen im Gitter .....	424
11.5.2	Frenkel'sche Fehlordnung .....	424
11.5.3	Diffusion von Punktdefekten .....	425
11.5.4	Gitterversetzungen .....	426
11.5.5	Polykristalline Festkörper .....	427
11.6	Warum halten Festkörper zusammen? .....	427
11.6.1	Edelgaskristalle .....	428
11.6.2	Ionenkristalle .....	429
11.6.3	Metallische Bindung .....	430
11.6.4	Kovalente Kristalle .....	431
11.6.5	Wasserstoffbrückenbindung .....	431
	Zusammenfassung .....	432
	Übungsaufgaben .....	433



**12. Dynamik der Kristallgitter**

12.1	Gitterschwingungen .....	435
12.1.1	Die lineare Kette .....	435
12.1.2	Optische und akustische Zweige .....	438
12.2	Spezifische Wärme von Festkörpern .....	440
12.2.1	Das Einstein-Modell der spezifischen Wärme .....	441
12.2.2	Das Debye-Modell der spezifischen Wärme .....	442
12.3	Phononenspektroskopie .....	445
12.3.1	Infrarotabsorption .....	445
12.3.2	Brillouin- und Ramanstreuung .....	446
12.3.3	Inelastische Neutronenstreuung .....	447
12.3.4	Ist Phononenspektroskopie mit Röntgenstrahlung möglich? .....	449
12.3.5	Phononenspektrum und Kraftkonstanten .....	449
12.3.6	Phononen als Quasiteilchen .....	449
12.4	Mößbauer-Effekt .....	450
	Zusammenfassung .....	455
	Übungsaufgaben .....	455

**13. Elektronen im Festkörper**

13.1	Freies Elektronengas .....	457
13.1.1	Elektronen im eindimensionalen Potentialkasten .....	457
13.1.2	Freies Elektronengas im dreidimensionalen Potentialkasten .....	459
13.1.3	Fermi-Dirac-Verteilung .....	460
13.1.4	Eigenschaften des Elektronengases bei $T = 0$ K .....	462
13.1.5	Elektronengas bei $T > 0$ K .....	462
13.1.6	Spezifische Wärme der Elektronen .....	463
13.2	Elektronen im periodischen Potential .....	465
13.2.1	Blochfunktionen .....	465
13.2.2	Energie-Impuls-Relationen .....	466
13.2.3	Energiebänder .....	468
13.2.4	Isolatoren und Leiter .....	468
13.2.5	Reale Bandstrukturen .....	469
13.3	Supraleitung .....	471
13.3.1	Das Cooper-Paar-Modell .....	471
13.3.2	Experimentelle Prüfung der BCS-Theorie .....	473
13.3.3	Hochtemperatursupraleiter .....	475
13.4	Nichtmetallische Leiter .....	477
13.5	Elektronenemission .....	477
13.5.1	Glühemission .....	478
13.5.2	Feldemission .....	479
	Zusammenfassung .....	481
	Übungsaufgaben .....	482

**14. Halbleiter**

14.1	Reine Elementhalbleiter .....	483
14.1.1	Elektronen und Löcher .....	484
14.1.2	Effektive Masse .....	485
14.1.3	Elektrische Leitfähigkeit von reinen Halbleitern .....	487
14.1.4	Die Bandstruktur von Halbleitern .....	488
14.2	Dotierte Halbleiter .....	489
14.2.1	Donatoren und n-Halbleiter .....	489
14.2.2	Akzeptoren und p-Halbleiter .....	491
14.2.3	Halbleitertypen .....	492
14.2.4	Störstellen-Leitung .....	492
14.2.5	Der p-n-Übergang .....	493
14.3	Anwendungen von Halbleitern .....	496
14.3.1	Gleichrichter-Dioden .....	496
14.3.2	Heißleiter und Halbleiter-Thermometer .....	496
14.3.3	Photodioden und Solarzellen .....	496
14.3.4	Transistoren .....	499
14.3.5	Feldeffekt-Transistoren .....	501
14.3.6	Integrierte Schaltungen .....	502
	Zusammenfassung .....	503
	Übungsaufgaben .....	504

**\*15. Dielektrische und optische Eigenschaften von Festkörpern**

15.1	Dielektrische Polarisierung und lokales Feld .....	505
15.2	Festkörper mit permanenten elektrischen Dipolen .....	508
15.3	Frequenzabhängigkeit der Polarisierung und dielektrische Funktion .....	508
15.3.1	Elektronische Polarisierung in Dielektrika .....	510
15.3.2	Optische Eigenschaften von Ionenkristallen .....	511
15.3.3	Experimentelle Bestimmung der dielektrischen Funktion .....	515
15.4	Optische Eigenschaften von Halbleitern .....	516
15.4.1	Interbandübergänge .....	516
15.4.2	Dotierte Halbleiter .....	517
15.4.3	Exzitonen .....	517
15.5	Störstellen und Farbzentren .....	518
	Zusammenfassung .....	520
	Übungsaufgaben .....	521

**16. Amorphe Festkörper; Flüssigkeiten, Flüssigkristalle und Cluster**

16.1	Gläser .....	524
16.1.1	Grundlagen .....	524
16.1.2	Die Struktur von Glas .....	525
16.1.3	Physikalische Eigenschaften von Gläsern .....	526
16.2	Metallische Gläser .....	527
16.2.1	Herstellungsverfahren .....	528
16.2.2	Struktur metallischer Gläser .....	529
16.2.3	Eigenschaften metallischer Gläser .....	529

---

16.3	Amorphe Halbleiter .....	530
16.3.1	Struktur und Herstellung von amorphem Silizium a-Si:H ..	530
16.3.2	Elektronische und optische Eigenschaften .....	531
16.4	Flüssigkeiten .....	531
16.4.1	Makroskopische Beschreibung .....	532
16.4.2	Mikroskopische Struktur .....	533
16.4.3	Experimentelle Untersuchungsmethoden .....	535
16.5	Flüssige Kristalle .....	535
16.5.1	Strukturtypen .....	536
16.5.2	Anwendungen von Flüssigkristallen .....	537
*16.6	Cluster .....	539
16.6.1	Klassifikation der Cluster .....	540
16.6.2	Herstellungsverfahren .....	541
16.6.3	Physikalische Eigenschaften .....	542
16.6.4	Anwendungen .....	543
	Zusammenfassung .....	545
	Übungsaufgaben .....	546
 <b>17. Oberflächen</b>		
17.1	Die atomare Struktur von Oberflächen .....	548
17.2	Experimentelle Untersuchungsmethoden .....	549
17.3	Adsorption und Desorption von Atomen und Molekülen .....	554
17.4	Chemische Reaktionen an Oberflächen .....	557
17.5	Schmelzen von Festkörperoberflächen .....	559
	Zusammenfassung .....	559
	Übungsaufgaben .....	560
 <b>Zeittafel .....</b>		
<b>561</b>		
 <b>Lösungen der Übungsaufgaben .....</b>		
<b>565</b>		
 <b>Farbtafeln .....</b>		
<b>619</b>		
 <b>Literatur .....</b>		
<b>627</b>		
 <b>Sach- und Namenverzeichnis .....</b>		
<b>639</b>		