

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	1
1	Periodische Strukturen	5
1.1	Kristallstruktur, Bravais-Gitter, Wigner-Seitz-Zelle	5
1.1.1	Kristallisation von Festkörpern	5
1.1.2	Kristall-System und Kristall-Gitter	6
1.1.3	Symmetriegruppe der Kristall-Systeme	9
1.1.4	Bravais-Gitter, primitive Einheitszelle und Wigner-Seitz-Zelle	10
1.1.5	Kristall-Strukturen	13
1.2	Das reziproke Gitter, Brillouin-Zone	15
1.3	Periodische Funktionen	18
1.4	Aufgaben zu Kapitel 1	21
2	Separation von Gitter- und Elektronen-Dynamik	23
2.1	Der allgemeine Festkörper-Hamilton-Operator	23
2.2	Adiabatische Näherung (Born-Oppenheimer-Näherung)	25
2.3	Bindung und effektive Kern-Kern-Wechselwirkung	29
2.4	Aufgaben zu Kapitel 2	36
3	Gitterschwingungen (Phononen)	39
3.1	Harmonische Näherung, dynamische Matrix und Normalkoordinaten	39
3.2	Klassische Bewegungsgleichungen	42
3.3	Periodische oder Born-von-Kármán-Randbedingungen	45
3.4	Quantisierte Gitterschwingungen und Phononen-Dispersionsrelationen	48
3.5	Thermodynamik der Gitterschwingungen (Phononen), Debye- und Einstein-Modell	52

3.6	Phononen-Spektren und -Zustandsdichten	60
3.6.1	Beispiel: Einfach kubisches Gitter	60
3.6.2	Phononen-Zustandsdichte	64
3.7	Grenzfall großer Wellenlänge	70
3.7.1	Akustische Phononen und elastische Wellen	70
3.7.2	Langwellige optische Phononen und elektromagnetische Wellen, Polariton	74
3.8	(Neutronen-)Streuung an Kristallen (Phononen), Debye-Waller-Faktor	78
3.9	Anharmonische Korrekturen	84
3.10	Aufgaben zu Kapitel 3	85
4	Nicht wechselwirkende Elektronen im Festkörper	93
4.1	Elektron im periodischen Potential, Bloch-Theorem	94
4.2	Näherung fast freier Elektronen	100
4.3	Effektiver Massentensor, Gruppengeschwindigkeit und k_p -Störungsrechnung	106
4.4	Modell starker Bindung (Tight-binding-Modell), Wannier-Zustände	109
4.5	Grundideen von numerischen Methoden zur Berechnung der elektronischen Bandstruktur	118
4.5.1	Zellenmethode	118
4.5.2	Entwicklung nach ebenen Wellen	120
4.5.3	APW-(„Augmented Plane Waves“-)Methode	121
4.5.4	Greenfunktions-Methode von Korringa, Kohn und Rostoker, KKR-Methode	122
4.5.5	OPW-(„orthogonalized plane waves“-)Methode	124
4.5.6	Pseudopotential-Methode	126
4.6	Elektronische Klassifikation von Festkörpern	127
4.7	Elektronische Zustandsdichte und Fermi-Fläche	132
4.8	Quantenstatistik und Thermodynamik der Festkörper-Elektronen	137
4.9	Statistik der Elektronen und Löcher in Halbleitern	145
4.10	Aufgaben zu Kapitel 4	149
5	Elektron-Elektron-Wechselwirkung	155
5.1	Besetzungszahldarstellung („2. Quantisierung“) für Fermionen	156
5.2	Modelle wechselwirkender Elektronensysteme in der Festkörperphysik	163
5.3	Hartree-Fock-Näherung	170
5.3.1	Herleitung aus dem Ritzschen Variationsverfahren	170
5.3.2	Herleitung aus einem Minimal-Prinzip für das großkanonische Potential	176
5.4	Homogenes Elektronengas in Hartree-Fock-Näherung	182

5.5	Elementare Theorie der statischen Abschirmung	188
5.5.1	Thomas-Fermi-Theorie der Abschirmung	189
5.5.2	Lindhard-Theorie der Abschirmung	191
5.5.3	Statische Abschirmung in Halbleitern	194
5.6	Anregungen im homogenen Elektronengas, Plasmonen	196
5.7	Exzitonen in Halbleitern	203
5.8	Grundideen der Dichtefunktional-Theorie	210
5.9	Quasi-Teilchen und Landau-Theorie der Fermi-Flüssigkeit	219
5.10	Aufgaben zu Kapitel 5	222
6	Elektron-Phonon-Wechselwirkung	231
6.1	Hamilton-Operator der Elektron-Phonon-Wechselwirkung	231
6.2	Renormierung der effektiven Elektronen-Masse	236
6.3	Abschirmeffekte auf Phononen-Dispersion und Elektron-Phonon-Wechselwirkung	239
6.4	Elektron-Phonon-Wechselwirkung in Ionen-Kristallen	244
6.5	Das Polaron	246
6.6	Aufgaben zu Kapitel 6	250
7	Elektronischer Transport in Festkörpern	253
7.1	Einfache phänomenologische Vorstellungen	253
7.1.1	Das Drude-Modell für die statische Leitfähigkeit von Metallen	253
7.1.2	Drude-Modell für metallischen Transport im Magnetfeld	255
7.1.3	Zwei Ladungsträgersorten, Magnetowiderstand	258
7.1.4	Phänomenologische Theorie der Wärmeleitfähigkeit	260
7.2	Relationen zwischen den Transportkoeffizienten	261
7.3	Boltzmann-Gleichung und Relaxationszeit-Näherung	265
7.4	Widerstand von Metallen durch Streuung	272
7.4.1	Streuung an Störstellen	273
7.4.2	Streuung an Phononen	276
7.5	Temperaturabhängigkeit des Widerstands von Halbleitern	282
7.6	Lineare Response Theorie	287
7.7	Elektrische Leitfähigkeit in linearer Response-Theorie, Kubo-Formel	292
7.8	Störstellenstreuung im Kubo-Formalismus	299
7.9	Weiteres zum Transport in Festkörpern	306
7.10	Aufgaben zu Kapitel 7	307
8	Optische (bzw. dielektrische) Eigenschaften von Festkörpern	311
8.1	Makroskopische Beschreibung	311
8.2	Einfache mikroskopische Modelle	316
8.2.1	Reflexionskoeffizient von Metallen im Drude-Modell	316
8.2.2	Boltzmann-Gleichung in Relaxationszeit-Näherung, anomaler Skin-Effekt	318

8.3	Mikroskopische Theorie der frequenzabhängigen Dielektrizitätskonstanten	322
8.4	Optische Eigenschaften von Halbleitern	328
8.4.1	Dipol-Kopplung an das elektromagnetische (optische) Feld	329
8.4.2	Zwei-Niveau-Systeme	332
8.4.3	Die Halbleiter-Bloch-Gleichungen	334
8.5	Polaritonen	340
8.5.1	Quantisierung des elektromagnetischen Feldes	340
8.5.2	Elektronen in Wechselwirkung mit dem quantisierten Strahlungsfeld	343
8.5.3	Das Exziton-Polariton	345
8.6	Aufgaben zu Kapitel 8	347
9	Störung der Gitter-Periodizität	353
9.1	Oberflächen	355
9.2	Störstellen	360
9.3	Ungeordnete Systeme	364
9.3.1	Die Coherent-Potential-Approximation (CPA)	367
9.3.2	Lokalisierung	371
9.4	Inhomogene Halbleitersysteme	373
9.5	Aufgaben zu Kapitel 9	378
10	Festkörper im äußeren Magnetfeld	381
10.1	Ankopplung von Magnetfeldern, Dia- und Paramagnetismus	381
10.2	Paramagnetismus lokalisierter magnetischer Momente	386
10.3	Pauli-Paramagnetismus von Leitungselektronen	389
10.4	Landau-Diamagnetismus freier Elektronen	391
10.5	Der De-Haas-van-Alphen-Effekt	395
10.6	Der Quanten-Hall-Effekt	400
10.7	Überblick über weitere im starken Magnetfeld beobachtbare Effekte	405
11	Supraleitung	407
11.1	Zusammenstellung der wichtigsten experimentellen Befunde	407
11.2	Attraktive Elektron-Elektron-Wechselwirkung	413
11.3	Cooper-Paare	417
11.4	BCS-Theorie	421
11.5	Stromtragender Zustand in der BCS-Theorie	431
11.6	Elektrodynamik der Supraleiter, London-Gleichungen	434
11.7	Ginzburg-Landau-Theorie	438
11.8	Tunneleffekte mit Supraleitern	447
11.8.1	Ein-Elektronen-Tunneln	447
11.8.2	Tunneln von Cooper-Paaren, Josephson-Effekt	450
11.9	Überblick über weitergehende Aspekte der Supraleitungs-Theorie	453

12 Kollektiver Magnetismus	459
12.1 Die Austausch-Wechselwirkung	459
12.2 Das Heisenberg-Modell und verwandte Gitter-Modelle	463
12.3 Molekularfeld-Näherung für das Heisenberg-Modell	466
12.4 Spinwellen (Magnonen), Holstein-Primakoff-Transformation	472
12.5 Band-Magnetismus	478
12.6 Hubbard-Modell und antiferromagnetisches Heisenberg-Modell ...	482
Literaturangaben	489
Sachverzeichnis	493