

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Wichtige Tabellen	XXIII
Vorschläge zur Verwendung des Buches	XXVII
1 Die Drude-Theorie der Metalle	1
Grundannahmen des Drude-Modells	2
Gleichstromleitfähigkeit eines Metalls	8
Hall-Effekt und Magnetwiderstand	14
Wechselstromleitfähigkeit eines Metalls	19
Wärmeleitfähigkeit eines Metalls	25
Aufgaben	32
2 Die Sommerfeld-Theorie der Metalle	37
Eigenschaften des Elektronengases im Grundzustand	39
Thermische Eigenschaften des freien Elektronengases:	
Die Fermi-Dirac-Verteilung	50
Thermische Eigenschaften des freien Elektronengases:	
Anwendungen der Fermi-Dirac-Verteilung	54
Die Sommerfeld-Theorie der elektrischen Leitung in Metallen	63
Aufgaben.....	68
3 Unzulänglichkeiten des Modells freier Elektronen	73
Schwierigkeiten mit dem Modell freier Elektronen	74
Rückblick auf die fundamentalen Annahmen	76
4 Kristallgitter	81
Bravaisgitter	82
Unendliche Gitter und endliche Kristalle	85
Weitere Illustrationen und wichtige Beispiele	85
Eine Bemerkung zum Gebrauch der Begriffe	90
Koordinationszahl	90
Primitive Einheitszelle	90

	Einheitszelle und konventionelle Einheitszelle	92
	Primitive Zelle nach Wigner-Seitz	93
	Kristallstrukturen: Gitter mit einer Basis	94
	Einige wichtige Beispiele für Kristallstrukturen und Gitter mit Basen	96
	Weitere Aspekte von Kristallgittern	103
	Aufgaben	103
5	Das reziproke Gitter	107
	Definition des reziproken Gitters	108
	Das reziproke Gitter ist ein Bravaisgitter	109
	Das Reziproke des reziproken Gitters	110
	Wichtige Beispiele	110
	Volumen der primitiven Zelle des reziproken Gitters	111
	Erste Brillouin-Zone	111
	Gitterebenen	113
	Millersche Indizes von Gitterebenen	114
	Einige Schreibweisen zur Angabe von Richtungen im Kristall	116
	Aufgaben	117
6	Bestimmung von Kristallstrukturen mittels Röntgenbeugung	119
	Braggsche Theorie der Beugung von Röntgenstrahlung an einem Kristall	120
	Lauesche Theorie der Beugung von Röntgenstrahlung an einem Kristall	122
	Äquivalenz der Betrachtungsweisen Braggs und von Laues	125
	Geometrien experimenteller Anordnungen, die der Lauesche Ansatz nahelegt	126
	Beugung durch ein einatomiges Gitter mit Basis – Der geometrische Strukturfaktor	131
	Beugung durch einen mehratomigen Kristall – Der Atomformfaktor	134
	Aufgaben	136
7	Klassifikation der Bravaisgitter und Kristallstrukturen	139
	Klassifikation der Bravaisgitter	140
	Die sieben Kristallsysteme	142
	Die vierzehn Bravaisgitter	143
	Die sieben Kristallsysteme und vierzehn Bravaisgitter	144
	Die kristallographischen Punktgruppen und Raumgruppen	149
	Systematische Benennung der Punktgruppen	154
	Die 230 Raumgruppen	157

	Beispiele von Elementkristallen	160
	Aufgaben	160
8	Elektronische Energieniveaus in einem periodischen Potential	163
	Das periodische Potential	165
	Blochscher Satz	166
	Erster Beweis des Blochschen Satzes	167
	Die Born-von Karman-Randbedingung	169
	Ein weiterer Beweis des Blochschen Satzes	171
	Allgemeine Bemerkungen zum Blochschen Satz	174
	Die Fermifläche	177
	Niveaudichte	179
	Aufgaben	183
9	Elektronen in einem schwachen periodischen Potential	189
	Allgemeiner Ansatz der Schrödingergleichung bei schwachem Potential	191
	Energieniveaus in der Umgebung einer einzelnen Bragg-Ebene	196
	Energiebänder im Eindimensionalen	200
	Energie-Wellenvektor-Kurven im Dreidimensionalen	202
	Die Energielücke	203
	Brillouin-Zonen	203
	Geometrischer Strukturfaktor für einatomige Gitter mit Basis	207
	Einfluß der Spin-Bahn-Kopplung an Punkten hoher Symmetrie	210
	Aufgaben	212
10	Das <i>Tight-Binding</i>-Verfahren	219
	Allgemeine Formulierung der Näherung	221
	Anwendung der Theorie zur Bestimmung eines <i>s</i> -Bandes, das aus einem einzelnen atomaren <i>s</i> -Niveau entsteht	227
	Allgemeine Bemerkungen zur Methode des <i>tight-binding</i>	230
	Wannier-Funktionen	235
	Aufgaben	237
11	Weitere Verfahren zur Berechnung von Bandstrukturen	241
	Allgemeine Eigenschaften von Valenzband-Wellenfunktionen	244
	Die Zellen-Methode nach Wigner-Seitz	247
	Das <i>augmented plane-wave</i> -Verfahren	253
	Die Methode der Greenschen Funktionen nach Korringa, Kohn und Rostoker (KKR-Verfahren)	256
	Das <i>orthogonalized plane-wave</i> -Verfahren	260

	Das Pseudopotential	263
	Kombinierte Verfahren	265
	Aufgaben	266
12	Semiklassisches Modell der Elektronendynamik	269
	Beschreibung des semiklassischen Modells	275
	Bemerkungen zum semiklassischen Modell und Beschränkungen seines Gültigkeitsbereiches	276
	Folgerungen aus den semiklassischen Bewegungsgleichungen	280
	Aufgaben	303
13	Semiklassische Theorie der Leitung in Metallen	307
	Die Relaxationszeitnäherung	308
	Berechnung der Nichtgleichgewichts-Verteilungsfunktion	310
	Vereinfachungen der Nichtgleichgewichts-Verteilungsfunktion in speziellen Fällen	314
	Gleichstromleitfähigkeit	315
	Wechselstromleitfähigkeit	318
	Wärmeleitfähigkeit	320
	Die Thermoelektrische Kraft	324
	Weitere thermoelektrische Effekte	327
	Semiklassische Leitfähigkeit in einem homogenen Magnetfeld	328
	Aufgaben	329
14	Experimentelle Bestimmung der Fermifläche	335
	Der de Haas-van Alphen-Effekt	337
	Freie Elektronen in einem homogenen Magnetfeld	343
	Energieniveaus von Bloch-Elektronen in einem homogenen Magnetfeld .	345
	Physikalischer Ursprung der oszillatorischen Phänomene	347
	Einfluß des Elektronenspins auf die oszillatorischen Phänomene	349
	Weitere „Sonden“ zur Vermessung der Fermifläche	349
	Aufgaben	357
15	Bandstrukturen ausgewählter Metalle	359
	Einwertige Metalle	360
	Zweiwertige Metalle	376
	Dreiwertige Metalle	379
	Vierwertige Metalle	382
	Halbmetalle	384
	Übergangsmetalle	386
	Metalle der Seltenen Erden	388

Legierungen	390
Aufgaben	392
16 Die Grenzen der Relaxationszeitnäherung	395
Mechanismen der Elektronenstreuung	397
Streuwahrscheinlichkeit und Relaxationszeit	398
Änderungsrate der Verteilungsfunktion aufgrund von Stößen	400
Berechnung der Verteilungsfunktion: Die Boltzmann-Gleichung	403
Streuung an Verunreinigungen	405
Das Wiedemann-Franzsche Gesetz	407
Die Matthiessensche Regel	408
Streuung in isotropen Stoffen	410
Aufgaben	413
17 Die Grenzen der Näherung unabhängiger Elektronen	417
Austausch: Die Hartree-Fock-Näherung	421
Hartree-Fock-Theorie freier Elektronen	423
Abschirmung, allgemeine Betrachtung	428
Thomas-Fermi-Theorie der Abschirmung	432
Lindhard-Theorie der Abschirmung	435
Frequenzabhängige Lindhard-Abschirmung	436
Hartree-Fock-Näherung mit Abschirmung	437
Theorie der Fermiflüssigkeit	437
Theorie der Fermiflüssigkeit: Konsequenzen aus dem Pauliprinzip für die Elektron-Elektron-Streuung nahe der Fermienergie	439
Theorie der Fermiflüssigkeit: Quasiteilchen	443
Theorie der Fermiflüssigkeit: Die f -Funktion	445
Theorie der Fermiflüssigkeit: Zusammenfassung und „Daumenregeln“	446
Aufgaben	446
18 Oberflächeneffekte	449
Einfluß der Oberfläche auf die Bindungsenergie eines Elektrons:	
Die Austrittsarbeit	451
Kontaktpotentiale	458
Bestimmung von Austrittsarbeiten durch Messung der Kontaktpotentiale	460
Weitere Methoden zur Messung von Austrittsarbeiten: Glühemission	461
Gemessene Werte der Austrittsarbeiten ausgewählter Metalle	463
Beugung niederenergetischer Elektronen (LEED)	464
Das Feldionenmikroskop	466

	Elektronische Oberflächenzustände	468
	Aufgaben	469
19	Klassifikation der Festkörper	473
	Klassifikation der Isolatoren	475
	Ionenkristalle	481
	Alkalihalogenide (I-VII-Ionenkristalle)	481
	Ionenradien	485
	II-VI-Ionenkristalle	488
	III-V-Kristalle (gemischt ionisch-kovalent)	490
	Kovalente Kristalle	491
	Molekülkristalle	493
	Metalle	494
	Wasserstoffbrücken-gebundene Kristalle	495
	Aufgaben	497
20	Gitterenergie	499
	Molekülkristalle: Die Edelgase	502
	Ionenkristalle	508
	Bindung in kovalenten Kristallen und Metallen	515
	Bindung in kovalenten Kristallen	517
	Bindung in Metallen mit freien Elektronen	518
	Aufgaben	521
21	Unzulänglichkeiten des Modells eines statischen Gitters	525
	Gleichgewichtseigenschaften	527
	Transporteigenschaften	529
	Wechselwirkung mit Strahlung	530
22	Klassische Theorie des harmonischen Kristalls	533
	Die harmonische Näherung	536
	Die adiabatische Näherung	538
	Wärmekapazität des klassischen Kristalls: Das Gesetz von Dulong-Petit	539
	Normalschwingungen eines eindimensionalen, einatomigen Bravaisgitters	544
	Normalschwingungen eines eindimensionalen Gitters mit Basis	548
	Normalschwingungen eines einatomigen, dreidimensionalen Bravaisgitters	553
	Normalschwingungen eines dreidimensionalen Gitters mit Basis	559
	Zusammenhang mit der Theorie der Elastizität	561
	Weitere Verminderung der Anzahl unabhängiger elastischer Konstanten .	563

	Kristallsymmetrien	563
	Aufgaben	566
23	Quantentheorie des harmonischen Kristalls	573
	Normalschwingungen gegen Phononen	575
	Allgemeine Form der Wärmekapazität des Gitters	576
	Wärmekapazität bei hohen Temperaturen	577
	Wärmekapazität bei niedrigen Temperaturen	578
	Wärmekapazität im mittleren Temperaturbereich:	
	Die Modelle von Debye und Einstein	581
	Die Debyesche Interpolation	582
	Das Einstein-Modell	585
	Vergleich der Wärmekapazitäten von Elektronen und Gitter	588
	Dichte der Normalschwingungen (Dichte der Phononenniveaus)	589
	Analogie zur Theorie der Schwarzkörperstrahlung	591
	Aufgaben	593
24	Messung der Dispersionsrelationen von Phononen	595
	Streuung von Neutronen an einem Kristall	597
	Streuung elektromagnetischer Strahlung an einem Kristall	609
	Wellenbild der Wechselwirkung von Strahlung und Gitterschwingungen .	612
	Aufgaben	616
25	Anharmonische Effekte in Kristallen	619
	Allgemeine Aspekte anharmonischer Theorien	621
	Zustandsgleichung und Wärmeausdehnung eines Kristalls	623
	Wärmeausdehnung: Der Grüneisen-Parameter	626
	Wärmeausdehnung der Metalle	628
	Wärmeleitfähigkeit des Gitters: Ein allgemeiner Ansatz	630
	Wärmeleitfähigkeit des Gitters: Elementare kinetische Theorie	635
	Zweiter Schall	642
	Aufgaben	646
26	Phononen in Metallen	649
	Elementare Theorie der Phononen-Dispersionsrelation	650
	Kohn-Anomalien	654
	Dielektrische Konstante eines Metalls	654
	Effektive Elektron-Elektron-Wechselwirkung	658
	Phononenbeitrag zur Energie-Wellenvektor-Relation der Elektronen	659
	Elektron-Phonon-Wechselwirkung	663
	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes der Metalle	665

	Modifikation des T^5 -Gesetzes durch Umklapp-Prozesse	669
	Phononen- <i>Drag</i>	670
	Aufgaben	671
27	Dielektrische Eigenschaften von Isolatoren	677
	Theorie des lokalen Feldes	685
	Theorie der Polarisierbarkeit	690
	Kovalent gebundene Isolatoren	702
	Pyroelektrizität	704
	Ferroelektrizität	707
	Aufgaben	709
28	Homogene Halbleiter	713
	Beispiele für Halbleiter	718
	Typische Bandstrukturen von Halbleitern	721
	Zyklotronresonanz	724
	Anzahl der Ladungsträger im thermodynamischen Gleichgewicht	726
	Störstellenniveaus	733
	Besetzung der Störstellenniveaus im thermodynamischen Gleichgewicht	737
	Ladungsträgerkonzentrationen dotierter Halbleiter im thermodynamischen Gleichgewicht	739
	Störstellenbandleitung	741
	Transporttheorie in nichtentarteten Halbleitern	742
	Aufgaben	743
29	Inhomogene Halbleiter	747
	Das semiklassische Modell	750
	Der p - n -Übergang im thermodynamischen Gleichgewicht	751
	Einfaches Modell der Gleichrichtung an einem p - n -Übergang	758
	Allgemeine physikalische Aspekte des Nichtgleichgewichtszustandes	762
	Eine detailliertere Theorie des p - n -Übergangs im Nichtgleichgewicht	769
	Aufgaben	776
30	Kristalldefekte	781
	Punktdefekte: Allgemeine thermodynamische Eigenschaften	782
	Defekte und thermodynamisches Gleichgewicht	788
	Punktdefekte und die elektrische Leitfähigkeit der Ionenkristalle	788
	Farbzentren	790
	Polaronen	794
	Exzitonen	795

	Liniendefekte: Versetzungen	799
	Festigkeit von Kristallen	805
	Dehnungshärtung	806
	Versetzungen und Kristallwachstum	806
	Whisker	807
	Beobachtung von Versetzungen und anderen Kristalldefekten	807
	Oberflächendefekte: Stapelfehler	808
	Kleinwinkel-Korngrenzen	809
	Aufgaben	809
31	Diamagnetismus und Paramagnetismus	815
	Magnetisierungsdichte und Suszeptibilität	816
	Berechnung atomarer Suszeptibilitäten:	
	Allgemeine Formulierung des Problems	818
	Suszeptibilität von Isolatoren mit gefüllten Elektronenschalen:	
	Larmorscher Diamagnetismus	822
	Grundzustand eines Atoms mit einer teilweise gefüllten	
	Elektronenschale: Die Hundschen Regeln	824
	Suszeptibilität von Isolatoren, die Atomrümpfe mit einer teilweise	
	gefüllten Elektronenschale enthalten: Paramagnetismus	828
	Magnetisierung eines Systems identischer Atomrümpfe	
	mit gleichen Gesamtdrehimpulsen J : Das Curiesche Gesetz	831
	Curiesches Gesetz in Festkörpern	833
	Thermische Eigenschaften paramagnetischer Isolatoren:	
	Adiabatische Entmagnetisierung	837
	Suszeptibilität der Metalle: Paulischer Paramagnetismus	839
	Diamagnetismus der Leitungselektronen	843
	Messung des Paulischen Paramagnetismus durch Kernmagnetische	
	Resonanz	844
	Diamagnetismus der Elektronen in dotierten Halbleitern	845
	Aufgaben	846
32	Wechselwirkungen der Elektronen und magnetische Struktur	853
	Abschätzung der Wechselwirkungsenergie magnetischer Dipole	856
	Magnetische Eigenschaften eines Zwei-Elektronen-Systems:	
	Singulett- und Triplettzustände	857
	Berechnung der Singulett-Triplett-Aufspaltung:	
	Versagen der Näherung unabhängiger Elektronen	859
	Spin-Hamiltonoperator und Heisenberg-Modell	864
	Direkter Austausch, Superaustausch, Indirekter Austausch,	
	Itineranter Austausch	866

	Magnetische Wechselwirkungen in einem Gas freier Elektronen	868
	Das Hubbard-Modell	871
	Lokalisierte Momente in Legierungen	872
	Die Kondo-Theorie des Widerstandsminimums	874
	Aufgaben	876
33	Magnetische Ordnung	883
	Typen magnetischer Struktur	884
	Beobachtung magnetischer Struktur	888
	Thermodynamische Eigenschaften beim Einsetzen magnetischer Ordnung	890
	Eigenschaften bei der Temperatur Null: Grundzustand des Heisenberg-Ferromagneten	893
	Eigenschaften bei der Temperatur Null: Grundzustand des Heisenberg-Antiferromagneten	896
	Verhalten des Heisenberg-Ferromagneten bei niedrigen Temperaturen: Spinwellen	897
	Suszeptibilität bei hohen Temperaturen	903
	Untersuchung des kritischen Punktes	907
	Molekularfeldtheorie	911
	Folgen des Vorhandenseins der Dipolwechselwirkung in Ferromagneten: Domänen	915
	Folgen des Vorhandenseins der Dipolwechselwirkung: Entmagnetisierungsfaktoren	920
	Aufgaben	920
34	Supraleitung	925
	Kritische Temperatur oder Sprungtemperatur	929
	Dauerströme	929
	Thermoelektrische Eigenschaften	931
	Magnetische Eigenschaften: Idealer Diamagnetismus	932
	Magnetische Eigenschaften: Das kritische Feld	933
	Wärmekapazität	936
	Weitere Folgen aus dem Vorhandensein einer Energielücke	937
	Die London-Gleichung	939
	Qualitative Eigenschaften der mikroskopischen Theorie	942
	Quantitative Voraussagen der elementaren mikroskopischen Theorie	947
	Der Meißner-Ochsenfeld-Effekt im Lichte der mikroskopischen Theorie .	952
	Die Ginzburg-Landau-Theorie	953
	Flußquantisierung	955
	Das Phänomen der Dauerströme im Lichte der mikroskopischen Theorie .	956

Tunneln von Supraströmen: Die Josephson-Effekte	958
Aufgaben	960
Anhänge	
A Wichtige numerische Beziehungen	965
B Das Chemische Potential	967
C Die Sommerfeld-Entwicklung	969
D Entwicklung periodischer Funktionen nach ebenen Wellen	972
E Geschwindigkeit und effektive Masse von Bloch-Elektronen	975
F Einige Identitäten der Fourier-Analyse periodischer Systeme	978
G Das Variationsprinzip für die Schrödingergleichung	980
H Hamiltonsche Formulierung der semiklassischen Bewegungsgleichungen und der Satz von Liouville	982
I Der Greensche Satz für periodische Funktionen	984
J Bedingungen für das Ausbleiben von Interbandübergängen in homogenen elektrischen Feldern oder homogenen Magnetfeldern	986
K Optische Eigenschaften der Festkörper	989
L Quantentheorie des Harmonischen Kristalls	994
M Erhaltung des Kristallimpulses	999
N Theorie der Streuung von Neutronen an einem Kristall	1007
O Anharmonische Terme und n -Phononen-Prozesse	1015
P Berechnung des Landéschen g -Faktors	1016
Index	1017