

Lux-Steiner Hohl

Aufgabensammlung zur Festkörperphysik

Mit 122 Abbildungen, 32 Tabellen
und 83 umfangreichen, mehrteiligen Aufgaben
und ausführlichen Lösungswegen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest

M. Ch. Lux-Steiner
H. H. Hohl
Universität Konstanz
Fakultät für Physik
Postfach 5560, D-78434 Konstanz

ISBN 3-540-56813-1 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Lux-Steiner, Martha: Aufgabensammlung zur Festkörperphysik : mit 28 Tabellen und umfangreichen, mehrteiligen Aufgaben und ausführlichem Lösungsweg / Lux-Steiner ; Hohl. - Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo ; Hong Kong ; Barcelona ; Budapest : Springer 1994

(Springer-Lehrbuch)

ISBN 3-540-56813-1

NE: Hohl, Heinrich:

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Verfielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Verfielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden könnten.

Satz: Reproduktionsreife Vorlagen von den Autoren mit Springer TEX-Makros

56/3140-5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Inhaltsverzeichnis

1. Kristalliner Zustand der Materie	1
1.1 Struktur idealer Kristalle	1
1.1.1 Raumerfüllung von kubischen Gittern	1
1.1.2 Tetragonales und pseudotetragonales Gitter	1
1.1.3 Raumerfüllung und Härte von Diamant ..	2
1.1.4 Zwischengitterplätze in kubischen Gittern	2
1.1.5 Zwischengitterplätze in hexagonalen Gittern	2
1.1.6 Zusammenhang zwischen fcc- und ccp-Gitter	3
1.1.7 Kubischer Perovskit in hexagonaler Darstellung	4
1.2 Reziprokes Gitter	5
1.2.1 Brillouin zonen eines quadratischen Gitters	5
1.2.2 Reziprokes Gitter zum hexagonalen Bravais-Gitter	5
1.3 Kristallstrukturanalyse	7
1.3.1 Pulverdiffraktometrie an $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_7$	7
1.3.2 Auslöschungsgesetze für Röntgenreflexe ..	8
1.3.3 Indizierung kubischer Substanzen	9
1.4 Bindungsarten im Kristall	10
1.4.1 Radienquotientenregel für ionische Verbindungen	10

1.4.2	Madelungkonstante einer eindimensionalen Ionenkette	10
1.4.3	Madelungkonstante eines zweidimensionalen Ionengitters	11
1.4.4	Bindungsenergie ionischer Verbindungen ..	12
	Lösungen zu Abschnitt 1.1	14
	Lösungen zu Abschnitt 1.2	26
	Lösungen zu Abschnitt 1.3	30
	Lösungen zu Abschnitt 1.4	37
2.	Dynamik des Kristallgitters	45
2.1	Modell der linearen Kette	45
2.1.1	Dispersionsrelation von Phononen bei Berücksichtigung nächster Nachbarn	45
2.1.2	Dispersionsrelation von Phononen bei Berücksichtigung sämtlicher Nachbarn	46
2.2	Zustandsdichte von Phononen	47
2.2.1	Zustandsdichte von Phononen in der Debeyeschen Kontinuumsnäherung	47
2.2.2	Debeyesche Kontinuumsnäherung für zwei- und eindimensionale Systeme	48
2.2.3	Zustandsdichte der Phononen einer eindimensionalen linearen Kette	48
	Lösungen zu Abschnitt 2.1	49
	Lösungen zu Abschnitt 2.2	52
3.	Elektronen im Festkörper	59
3.1	Modell des freien Elektronengases	59
3.1.1	Fermienergie von Elektronen in Metallen	59
3.1.2	Zustandsdichte eines freien Fermigas ...	60
3.1.3	Mittlere Energie von Elektronen	60
3.1.4	Chemisches Potential eines Fermigas ...	61
3.1.5	Druck und Kompressibilität eines Fermigas	61
3.1.6	Kalorische Zustandsgleichung	62

3.2	Weitere Anwendung des Fermigas-Modells	62
3.2.1	Fermigas-Kernmodell	62
3.2.2	Fermigase in der Astrophysik	63
3.3	Bändertheorie des Festkörpers	64
3.3.1	Reduziertes und erweitertes Zonenschema	64
3.3.2	Zweidimensionales System quasigebundener Elektronen	65
3.4	Zustandsdichtefunktionen	66
3.4.1	Berechnung von $D(E)$ mittels Differentiation	66
3.4.2	Berechnung von $D(E)$ mittels Integration	67
3.4.3	Formeln zur Berechnung von $D(E)$ bei zwei- und eindimensionalen Systemen	67
3.4.4	Zustandsdichte eines zweidimensionalen Systems quasigebundener Elektronen	68
3.5	Kristallelektronen im magnetischen Feld	69
3.5.1	De Haas-van Alphen-Effekt in Gold	69
3.5.2	Extremalbahnen im reziproken Raum	70
3.5.3	Zyklotronresonanz bei Kalium	71
3.5.4	Bahnquantisierung im Magnetfeld	72
3.5.5	Freies Elektronengas im magnetischen Feld	74
3.6	Transporteigenschaften des Elektronengases	75
3.6.1	Wiedemann-Franz-Gesetz	75
3.6.2	Thermische Leitfähigkeit von Diamant ...	76
3.6.3	Temperaturverlauf im Innern eines homogenen Wärmeleiters	76
	Lösungen zu Abschnitt 3.1	78
	Lösungen zu Abschnitt 3.2	86
	Lösungen zu Abschnitt 3.3	90
	Lösungen zu Abschnitt 3.4	96
	Lösungen zu Abschnitt 3.5	105
	Lösungen zu Abschnitt 3.6	118

4. Halbleiter	123
4.1 Grundlegende Eigenschaften von Halbleitern	123
4.1.1 Bindungsregel von Pearson	123
4.1.2 Zustandsdichtemassee von Ladungsträgern	124
4.1.3 Anwendung der Fermi-Integrale bei Halbleitern	126
4.2 Eigenschaften intrinsischer Halbleiter	128
4.2.1 Ladungsträgerdichte nichtentarteter Halbleiter	128
4.2.2 Temperaturabhängigkeit der Fermienergie intrinsischer Halbleiter	130
4.2.3 Temperaturabhängigkeit der Bandlücke	130
4.3 Dotierte Halbleiter	132
4.3.1 Temperaturabhängigkeit der Fermienergie dotierter Halbleiter	132
4.3.2 Ladungsträgerkonzentration und Wärmekapazität von hoch dotiertem n-leitendem ZnO	133
4.3.3 Leitfähigkeit und Hall-Koeffizient nichtentarteter Halbleiter	133
4.4 Bandschemata von Halbleitern	135
4.4.1 GaAs/ZnSe-Heterodioden	135
Lösungen zu Abschnitt 4.1	138
Lösungen zu Abschnitt 4.2	143
Lösungen zu Abschnitt 4.3	150
Lösungen zu Abschnitt 4.4	158
5. Dielektrika	161
5.1 Dielektrika im elektrischen Feld	161
5.1.1 Entelektrisierungsfaktor	161
5.1.2 Makroskopisches elektrisches Feld	162
5.1.3 Clausius-Mossotti-Gleichung	163

5.2	Optische Eigenschaften isotroper Festkörper	164
5.2.1	Elektromagnetische Wellen in Materie	164
5.2.2	Reflexionsvermögen bei senkrechter Inzidenz	165
5.2.3	Hagen–Rubens-Gesetz	166
5.3	Plasmaschwingungen	167
5.3.1	Einfaches Modell für Plasmaschwingungen	167
5.3.2	Energieverlustfunktion	168
5.3.3	Plasmafrequenz einiger Metalle	169
	Lösungen zu Abschnitt 5.1	170
	Lösungen zu Abschnitt 5.2	178
	Lösungen zu Abschnitt 5.3	191
6.	Magnetismus	199
6.1	Diamagnetismus	199
6.1.1	Diamagnetismus ionischer Verbindungen	199
6.2	Paramagnetismus lokalisiert magnetischer Momente	200
6.2.1	Zweizustandssystem	200
6.2.2	Brillouinfunktion	202
6.2.3	Hundsche Regeln	203
6.2.4	Magnetische Momente von 4f-Ionen	204
6.2.5	Spinmagnetismus von Übergangsmetallionen	204
6.2.6	Magnetische Suszeptibilität von Magnesiumtitanat	205
6.3	Elektrisches Kristallfeld	206
6.3.1	Reellwertige Lösungen der Schrödingergleichung	206
6.3.2	Kristallfeldaufspaltung von Energieniveaus	208
6.4	Magnetismus delocalisierter Elektronen	210
6.4.1	Magnetische Suszeptibilität von Kupfer und Aluminium	210

6.5	Kooperative magnetische Erscheinungen	211
6.5.1	Klassische Dipol-Dipol-Wechselwirkung ..	211
6.5.2	Curie-Weiss-Gesetz	212
6.5.3	Makroskopisches magnetisches Feld	213
6.5.4	Molekularfeldnäherung des Ferromagnetismus	214
6.5.5	Klassifizierung von Ferromagneten	216
	Lösungen zu Abschnitt 6.1	218
	Lösungen zu Abschnitt 6.2	220
	Lösungen zu Abschnitt 6.3	236
	Lösungen zu Abschnitt 6.4	247
	Lösungen zu Abschnitt 6.5	250
7.	Supraleitung	269
7.1	Supraleiter im magnetischen Feld	269
7.1.1	Eindringen des Magnetfeldes in einen Supraleiter	269
7.1.2	Zwischenzustand von Supraleitern 1. Art	271
7.2	Verlustfreier Stromtransport in Supraleitern	271
7.2.1	Kritische Stromstärke eines supraleitenden Drahtes	271
7.2.2	Dauerstromversuch	273
7.3	Thermodynamik des supraleitenden Zustandes ..	274
7.3.1	Allgemeine thermodynamische Betrachtungen	274
7.3.2	Vergleich thermodynamischer Beziehungen mit dem Experiment	276
	Lösungen zu Abschnitt 7.1	278
	Lösungen zu Abschnitt 7.2	287
	Lösungen zu Abschnitt 7.3	295
A.	Thermodynamische Relationen	303
A.1	Thermodynamische Potentiale	303
A.2	Thermodynamisches Quadrat	305

A.3 Allgemeine Form des Thermodynamischen Quadrates	308
B. Physikalische Konstanten	311
B.1 Konstanten in SI-Einheiten	311
B.2 Konstanten in anderen Einheiten	312
B.3 Die cgs-Einheiten „Gauß“ und „Oersted“	312
 Literaturverzeichnis	 313
 Sachverzeichnis	 315