

**STRUKTUR UND EIGENSCHAFTEN  
DER MATERIE**

EINE MONOGRAPHIENSAMMLUNG

BEGRÜNDET VON M. BORN UND J. FRANCK

HERAUSGEGEBEN VON F. HUND-LEIPZIG UND H. MARK-WIEN

XVIII

**ELEKTRONENTHEORIE  
DER METALLE**

VON

**DR. HERBERT FRÖHLICH**

BRISTOL

MIT 71 ABBILDUNGEN



BERLIN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER

1936

ISBN-13: 978-3-642-88905-9 e-ISBN: 978-3-642-90760-9

DOI: 10.1007/978-3-642-90760-9

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG  
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.

COPYRIGHT 1986 BY JULIUS SPRINGER IN BERLIN.

SOFTCOVER REPRINT OF THE HARDCOVER 1ST EDITION 1986

## Vorwort.

Die Elektronentheorie der Metalle ist gegenwärtig so weit fortgeschritten, daß sie fast alle Eigenschaften der Metalle erklärt und schon auf einigen Gebieten vollständige quantitative Angaben machen kann.

Dieses Buch soll eine Einführung für diejenigen sein, die die Entwicklung der Theorie nicht im einzelnen verfolgt haben. Ich habe dabei insbesondere an den Experimentalphysiker gedacht, der sich mit Metallphysik beschäftigt, und der sicher aus der Theorie manche Anregung schöpfen kann. Ich habe mich daher bemüht, mit möglichst einfachen mathematischen Hilfsmitteln auszukommen, und andererseits überall, wo es möglich ist, die Ergebnisse der Theorie mit den Experimenten zu vergleichen.

Die Herren K. FUCHS und H. LONDON haben mich beim Lesen der Korrekturen freundlichst unterstützt. Beiden möchte ich auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank aussprechen.

Bristol, im September 1936.

**HERBERT FRÖHLICH.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Kurzer Überblick über die Entwicklung der Elektronen- theorie der Metalle . . . . .	1
I. Allgemeine Grundlagen . . . . .	2
1. Einführung. . . . .	2
2. Das Potential . . . . .	10
3. Das Elektron im periodischen Potential. . . . .	14
4. Spezielle Fälle . . . . .	30
5. Die Gesamtheit aller Elektronen . . . . .	58
II. Einfache Probleme . . . . .	83
6. Emissionsprozesse . . . . .	83
7. Elektronenbeugung . . . . .	94
8. Optik . . . . .	101
9. Photoeffekt . . . . .	119
10. Röntgenstrahlen . . . . .	137
11. Para- und Diamagnetismus . . . . .	144
III. Leitfähigkeit . . . . .	156
12. Elementare Theorie . . . . .	156
13. Die Gitterschwingungen und ihre Wechselwirkung mit den Elektronen . . . . .	163
14. Elektrische Leitfähigkeit. . . . .	180
15. Wärmeleitfähigkeit . . . . .	199
16. Thermoelektrische Effekte . . . . .	206
17. Galvano-magnetische Effekte . . . . .	212
IV. Halbleiter . . . . .	224
18. Allgemeines . . . . .	224
19. Leitfähigkeitsprobleme. . . . .	232
20. Optische Probleme . . . . .	248
V. Die metallische Bindung . . . . .	256
21. Einführung. . . . .	256
22. Das Metallmodell der freien Elektronen . . . . .	266
23. Quantitatives . . . . .	272
VI. Ferromagnetismus (und Paramagnetismus II). . . . .	285
24. Austauschkräfte und Wechselwirkung freier Elektronen. . . . .	285
25. Der ferromagnetische Zustand . . . . .	295
26. Die Magnetisierungskurve . . . . .	306
27. Paramagnetismus II . . . . .	314

	Seite
VII. Systematische Diskussion der Metalle . . . . .	319
28. Überblick . . . . .	319
29. Elemente mit abgeschlossenen inneren Schalen . . . . .	325
30. Elemente mit nichtabgeschlossenen inneren Schalen (Über- gangselemente) . . . . .	332
31. Wismut . . . . .	342
32. Flüssige Metalle . . . . .	348
Anhang . . . . .	354
1. SCHRÖDINGER-Gleichung mit Vektorpotential . . . . .	354
2. Beweis des Summensatzes . . . . .	356
3. Integrale zur FERMI-Statistik . . . . .	356
4. BOSE-EINSTEIN-Statistik . . . . .	359
5. Virialsatz . . . . .	362
6. Elektronen in nichtkubischen Kristallen . . . . .	363
7. Gitterpotential . . . . .	365
8. Legierungen mit $\gamma$ -Struktur . . . . .	368
Literaturverzeichnis . . . . .	376
Sachverzeichnis . . . . .	383

### Einige Zahlenwerte.

$$c = 2,998 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}$$

$$e = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ abs. elektrostatische Einheiten}$$

$$h = 6,55 \cdot 10^{-27} \text{ erg. sec.}$$

$$h = 1,04 \cdot 10^{-27} \text{ erg. sec.}$$

$$k = 1,37 \cdot 10^{-16} \text{ erg. grad}^{-1}$$

$$m = 9,03 \cdot 10^{-28} \text{ g}$$

$$N = 6,06 \cdot 10^{23} = \text{LOSCHMIDT-Zahl}$$

$$\mu = \frac{1}{2} \frac{eh}{mc} = 0,916 \cdot 10^{-20} = 1 \text{ BOHRsches Magneton.}$$

### Energiebezeichnungen.

Wir werden die Energie häufig in e-Volt,  $k$ -Grad und  $\mu$ -Gauß ausdrücken. 1 e-Volt ist dabei die Energie  $eV$ , mit  $V = 1$  Volt. Entsprechend ist 1  $k$ -Grad die Energie  $kT$  mit  $T = 1^\circ$  und 1  $\mu$ -Gauß die Energie  $\mu H$  mit  $H = 1$  Gauß.

$$1 \text{ e-Volt} = 1,59 \cdot 10^{-12} \text{ erg} = 23,0 \text{ K-Cal/g-Atom} = 1,16 \cdot 10^4 \text{ k-Grad} \\ = 1,73 \cdot 10^8 \mu\text{-Gauß.}$$

$$1 \text{ k-Grad} = 1,49 \cdot 10^4 \mu\text{-Gauß} = 0,862 \cdot 10^{-4} \text{ e-Volt.}$$

## Bezeichnungen.

Die folgenden Bezeichnungen werden im Text nicht besonders erklärt:

$c$  = Lichtgeschwindigkeit

$e$  = Elektronenladung

$h$  = PLANCKSches Wirkungsquantum

$h = \frac{h}{2\pi}$

$k$  = BOLTZMANN-Konstante

$m$  = Elektronenmasse

$a$  = Gitterkonstante

$\mathfrak{f}$  = reduzierter Ausbreitungsvektor

$\mathfrak{m}$  = Vektor mit den *ganzzahligen* Komponenten  $m_x, m_y, m_z$

$\mathfrak{n}$  = Vektor mit den *ganzzahligen* Komponenten  $n_x, n_y, n_z$

$R$  = Volumen des Grundgebietes

$\mathfrak{r}$  = Ortsvektor

$T$  = absolute Temperatur

$\tau$  = Zeit

$\left. \begin{array}{l} x \\ y \\ z \end{array} \right\}$  = Komponenten des Ortsvektors

$\nu$  = Frequenz

Bei Temperaturangaben bedeutet die Bezeichnung  $^\circ$ , z. B.  $100^\circ$ , immer die absolute Temperatur, während  $^\circ\text{C}$  Celsiusgrad sind.