

Wilhelm Brenig

Statistische Theorie der Wärme

Gleichgewichtsphänomene

Vierte, neubearbeitete und erweiterte Auflage
mit 104 Abbildungen, 19 Tabellen, 91 Aufgaben
und zahlreichen Beispielen



Springer

Professor Dr. Wilhelm Brenig
Technische Universität München
Physik Department
James-Franck-Straße
D-85748 Garching
e-mail: brenig@physik.tu-muenchen.de

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Brenig, Wilhelm:

Statistische Theorie der Wärme / Wilhelm Brenig. - Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ;
Budapest ; Hongkong ; London ; Mailand ; Paris ; Santa Clara ; Singapur ; Tokio : Springer.
Gleichgewichtsphänomene: mit 19 Tabellen. - 4. erw. Aufl. - 1996
(Springer-Lehrbuch)
ISBN 3-540-60345-X

ISBN 3-540-60345-X 4. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

ISBN 3-540-55723-7 3. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

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 Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung 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 geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1975, 1982, 1992, 1996
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 dürften.

Datenkonvertierung durch Springer-Verlag
Herstellerin: P. Treiber
Einbandgestaltung: Design & Production, Heidelberg
SPIN: 10514920 56/3144 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Inhaltsverzeichnis

Teil I Statistische Gesamtheiten und das thermische Gleichgewicht . . .	1
<hr/>	
1. Einleitung **	3
Literatur	6
2. Statistische und thermodynamische Physik	7
2.1 Statistische Gesamtheiten	7
2.2 Kanonische Gesamtheiten, Entropie und Temperatur	10
2.2.1 Zustandssumme und Entropie des idealen Gases *	17
Aufgaben	18
Literatur	19
Ergänzende Literatur	19
3. Grundbegriffe der Statistik	21
3.1 Klassische Statistik	21
3.2 Quantenstatistik	25
Aufgaben	28
Literatur	29
4. Die Schwankungen makroskopischer additiver Größen	31
Aufgaben	33
Literatur	33
5. Das thermische Gleichgewicht	35
Ergänzende Literatur	37
6. Statistische Gesamtheiten des Gleichgewichts	39
6.1 Die mikrokanonische Gesamtheit	40
6.2 Die kanonische Gesamtheit	45
6.3 Die großkanonische Gesamtheit	50
6.4 Systeme mit äußeren Kräften und die verallgemeinerte großkanonische Gesamtheit	51

(*),(**) Kapitel oder Abschnitte mit (*) betreffen pädagogische Erläuterungen anhand von einfachen Beispielen, solche mit (**) geben zusätzliche Hintergrundinformationen, z. B. historische Bemerkungen oder Querverbindungen zu anderen Gebieten der Physik

Aufgaben	53
Ergänzende Literatur	54
7. Die Maxwell-Boltzmann-Verteilung *	55
7.1 Barometrische Höhenformel	55
7.2 Maxwell-Verteilung	56
7.3 Druck und mittlere kinetische Energie	57
Aufgaben	58
Literatur	59
Ergänzende Literatur	59
8. Die kanonische Verteilung *	61
8.1 Klassische Statistik	61
8.2 Quantenstatistik	62
Aufgaben	63
9. Thermodynamische Mittelwerte	65
Aufgaben	69
10. Entropie und Wahrscheinlichkeit	71
10.1 Additivität, Extensivität	72
10.2 Entropie und partielle Gleichgewichte	73
10.3 Extremaleigenschaften	76
Aufgaben	83
Ergänzende Literatur	83
11. Entropie und Information **	85
Literatur	87
12. Mechanische Zustandsgrößen in der Thermodynamik	89
Aufgaben	91
Ergänzende Literatur	91
13. Elektromagnetische Zustandsgrößen in der Thermodynamik	93
Aufgaben	96
Ergänzende Literatur	96
14. Thermische Fluktuationen	97
Aufgaben	102
<hr/>	
Teil II Gleichgewichtsthermodynamik	102
<hr/>	
15. Hauptsätze der Thermodynamik	105
15.1 Wärmemenge	105
15.2 Temperatur	106
15.3 Der I. Hauptsatz	107

15.4 Der II. Hauptsatz	113
Aufgaben	119
Literatur	120
16. Carnot-Prozesse und thermodynamische Temperaturskala	121
Aufgaben	124
Literatur	124
17. Thermodynamische Relationen	125
Aufgaben	129
18. Homogene Systeme	131
Aufgabe	135
Literatur	135
19. Gleichgewicht in inhomogenen Feldern	137
Aufgabe	138
20. Stoffaustauschgleichgewichte	139
20.1 Phasengleichgewichte	139
20.2 Der osmotische Druck	141
20.3 Gleichgewichtsverschiebungen in Lösungen	142
20.4 Chemische Gleichgewichte	145
Aufgaben	148
21. Umwandlungswärmen und Clausius-Clapeyron-Gleichung	149
21.1 Latente Wärmen bei Phasenumwandlungen	149
21.2 Chemische Reaktionswärmen	150
Aufgaben	151
Teil III Berechnung thermodynamischer Funktionen	
22. Näherungsmethoden	155
Ergänzende Literatur	156
23. Die quasiklassische Näherung	157
Aufgaben	159
Literatur	159
24. Gleichverteilungssatz und Virialsatz	161
Aufgaben	164
Literatur	164
Ergänzende Literatur	164
25. Quantenkorrekturen zur klassischen Statistik	165

26. Störungstheorie	169
Aufgaben	172
Ergänzende Literatur	173
27. Verdünnte Gase und Lösungen	175
28. Einatomige klassische ideale Gase	179
Aufgaben	181
Literatur	182
29. Zweiatomige ideale Gase	183
Aufgabe	186
30. Die Virialentwicklung	187
Aufgaben	191
Literatur	192
Ergänzende Literatur	192
31. Die van der Waals-Gleichung	193
Aufgaben	199
Literatur	199
Ergänzende Literatur	199
32. Thermodynamische Ähnlichkeit **	201
Literatur	203
Ergänzende Literatur	203
33. Molekularfeldnäherung für inhomogene Systeme	205
33.1 Die freie Energie im inhomogenen Feld	205
33.2 Heuristische Herleitung der Dichtefluktuationen im Rahmen der Molekularfeldnäherung *	207
33.3 Kompressibilität und langreichweitige Dichteschwankungen	209
Aufgabe	212
Literatur	212
34. Systeme mit geladenen Teilchen	213
Literatur	216
35. Dichteschwankungen und Lichtstreuung **	217
Aufgabe	219
36. Spinsysteme	221
Aufgaben	225
Literatur	225
Ergänzende Literatur	225

37. Quasiteilchen	227
37.1 Elementare Anregungen in kondensierter Materie **	227
37.2 Quasifermionen	229
37.3 Quasibosonen	232
37.4 Bose-Kondensation	233
37.5 Die spezifische Wärme bei tiefen Temperaturen	235
Aufgabe	236
Literatur	236
38. Photonen im Strahlungshohlraum	237
Aufgaben	241
Literatur	242
39. Phononen in festen Körpern	243
Aufgaben	249
40. Phononen und Rotonen im flüssigen He II	251
Aufgaben	256
Literatur	256
Ergänzende Literatur	256
41. Fermionen bei tiefen Temperaturen	257
41.1 Normale Fermi-Flüssigkeiten	257
41.2 Supraleiter	262
Aufgaben	264
Literatur	265
Ergänzende Literatur	265
42. Ferromagnetische Magnonen bei tiefen Temperaturen	267
Aufgabe	269
Ergänzende Literatur	270
43. Phasenübergänge	271
44. Feldtheorie kritischer Phänomene	275
44.1 Molekularfeldtheorie homogener Systeme *	275
44.2 Die freie Energie im kritischen Bereich	277
44.3 Molekularfeldtheorie kritischer Phänomene	278
44.4 Mehrkomponentige Felder	281
Aufgaben	283
Literatur	283
45. Fluktuationen des Ordnungsparameterfeldes	285
45.1 Fluktuationsbeiträge zur Suszeptibilität	286
45.2 Fluktuationsbeiträge zur spezifischen Wärme	288
Aufgaben	290

Literatur	291
Ergänzende Literatur	291
46. Skaleninvarianz und kritische Exponenten	293
Literatur	300
47. Fluktuationsbeiträge zur freien Energie	301
47.1 Die Terme erster Ordnung	303
47.2 Die Terme zweiter Ordnung	304
Aufgaben	307
Literatur	308
48. Berechnung kritischer Exponenten	309
48.1 Der Exponent ν	310
48.2 Der Exponent η	311
Literatur	314
Ergänzende Literatur	314
49. Die Renormierungsgruppe	315
Aufgabe	318
Literatur	318
Ergänzende Literatur	318
50. Renormierungsgruppen-Transformation im Impulsraum	319
Aufgabe	322
Literatur	322
Ergänzende Literatur	322
51. Renormierungsgruppen-Transformation im Ortsraum *	323
Aufgabe	325
Literatur	325
Ergänzende Literatur	326
A. Erzeugung tiefer Temperaturen	327
A.1 Adiabatische Entspannung	327
A.2 Das Gegenstromprinzip	329
A.3 Gedrosselte Entspannung (Joule-Thomson-Effekt)	330
Aufgabe	331
A.4 Adiabatische Entmagnetisierung	331
A.5 $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischung	332
A.6 ^3He -Kompression (Pomerantschuk-Effekt)	334
A.7 Laserkühlung	335
Literatur	337
Sachverzeichnis	339