L. D. LANDAU E. M. LIFSCHITZ

STATISTISCHE PHYSIK

Teil 1

In deutscher Sprache herausgegeben

von Prof. Dr. habil. RICHARD LENK
Sektion Physik
der Technischen Universität Chemnitz

8., berichtigte, von
E. M. LIFSCHITZ UND L. P. PITAJEWSKI
ergänzte Auflage
Mit 78 Abbildungen und 3 Tabellen

AKADEMIE-VERLAG BERLIN

INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel I. **Die Grundprinzipien der Statistik** 1

§ 1. Die statistische Verteilung 1
§ 2. Die statistische Unabhängigkeit 6
§ 3. Das LIOUVILLE-Theorem 8
§ 4. Die Rolle der Energie 10
§ 5. Die Dichtematrix 13
§ 6. Die statistische Verteilung in der Quantenstatistik 19
§ 7. Die Entropie 22
§ 8. Das Gesetz über das Anwachsen der Entropie (Entropiesatz) 27

Kapitel II. **Die thermodynamischen Größen** 32

§ 9. Die Temperatur 32
§ 10. Die makroskopische Bewegung 34
§ 11. Adiabatische Prozesse 36
§ 12. Der Druck 39
§ 13. Arbeit und Wärmemenge 42
§ 14. Die Enthalpie 44
§ 15. Freie Energie und freie Enthalpie 45
§ 16. Beziehungen zwischen den Ableitungen der thermodynamischen Größen 48
§ 17. Die thermodynamische Temperaturskala 51
§ 18. Der JOULE-THOMSON-Prozeß 52
§ 19. Die maximale Arbeit 54
§ 20. Die von einem Körper, der sich in einem äußeren Medium befindet, verrichtete maximale Arbeit 55
§ 21. Thermodynamische Ungleichungen 59
§ 22. Das Prinzip von LE CHATELIER 61
§ 23. Das NERNSTsche Theorem 64
§ 24. Abhängigkeit der thermodynamischen Größen von der Teilchenzahl . . 66
§ 25. Das Gleichgewicht eines Körpers in einem äußeren Feld 69
§ 26. Rotierende Körper 70
§ 27. Thermodynamische Beziehungen im relativistischen Gebiet 72

Kapitel III. **Die GIBBSsche Verteilung** 75

§ 28. Die GIBBSsche Verteilung 75
§ 29. Die MAXWELL-Verteilung 78

§ 30. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung für einen Oszillator 82
§ 31. Die freie Energie in der GIBBSschen Verteilung 85
§ 32. Die thermodynamische Störungstheorie 89
§ 33. Entwicklung nach Potenzen von $\hbar$ 92
§ 34. Die GIBBSsche Verteilung für rotierende Körper 98
§ 35. Die GIBBSsche Verteilung mit variabler Teilchenzahl 100
§ 36. Ableitung der thermodynamischen Beziehungen aus der GIBBSschen Verteilung 102

Kapitel IV. **Das ideale Gas** 105

§ 37. Die BOLTZMANN-Verteilung 105
§ 38. Die BOLTZMANN-Verteilung in der klassischen Statistik 107
§ 39. Stöße von Molekülen 109
§ 40. Das ideale Gas im Nichtgleichgewichtszustand 111
§ 41. Die freie Energie eines idealen BOLTZMANN-Gases 114
§ 42. Die Zustandsgleichung des idealen Gases 115
§ 43. Das ideale Gas mit konstanter Wärmekapazität 118
§ 44. Der Gleichverteilungssatz 122
§ 45. Das einatomige ideale Gas 125
§ 46. Das einatomige Gas. Der Einfluß des Elektronendrehimpulses 127
§ 47. Das zweiatomige Gas mit Molekülen aus verschiedenartigen Atomen. Die Rotation der Moleküle 129
§ 48. Das zweiatomige Gas mit Molekülen aus gleichartigen Atomen. Die Rotation der Moleküle 133
§ 49. Das zweiatomige Gas. Die Atomschwingungen 135
§ 50. Das zweiatomige Gas. Der Einfluß des Elektronendrehimpulses 138
§ 51. Das vielatomige Gas 140
§ 52. Der Magnetismus von Gasen 143

Kapitel V. **Die FERMI- und BOSE-Verteilungen** 149

§ 53. Die FERMI-Verteilung 149
§ 54. Die BOSE-Verteilung 150
§ 55. FERMI- und BOSE-Gase im Nichtgleichgewicht 151
§ 56. FERMI- und BOSE-Gase von Elementarteilchen 153
§ 57. Das entartete Elektronengas 156
§ 58. Die Wärmekapazität des entarteten Elektronengases 159
§ 59. Der Magnetismus des Elektronengases. Schwache Felder 162
§ 60. Der Magnetismus des Elektronengases. Starke Felder 165
§ 61. Das relativistische entartete Elektronengas 167
§ 62. Das entartete BOSE-Gas 170
§ 63. Die Wärmestrahlung 172

Kapitel VI. **Festkörper** 180

§ 64. Festkörper bei tiefen Temperaturen 180
§ 65. Festkörper bei hohen Temperaturen 184
§ 66. Die Interpolationsformel von DEBYE für die Wärmekapazität 187

§ 67. Die thermische Ausdehnung fester Körper 190
§ 68. Stark anisotrope Kristalle 191
§ 69. Schwingungen des Kristallgitters 195
§ 70. Die Zustandsdichte der Schwingungen 199
§ 71. Phononen 202
§ 72. Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren für Phononen 205
§ 73. Negative Temperaturen 208

Kapitel VII. **Reale Gase** 211

§ 74. Abweichung des Verhaltens der Gase vom idealen Verhalten 211
§ 75. Entwicklung nach Potenzen der Dichte 216
§ 76. Die VAN DER WAALS-Gleichung 218
§ 77. Der Zusammenhang des Virialkoeffizienten mit der Streuamplitude. . 221
§ 78. Thermodynamische Größen eines klassischen Plasmas 225
§ 79. Die Methode der Korrelationsfunktionen 228
§ 80. Thermodynamische Größen eines entarteten Plasmas 230

Kapitel VIII. **Das Phasengleichgewicht** 236

§ 81. Bedingungen für das Phasengleichgewicht 236
§ 82. Die Formel von CLAUSIUS-CLAPEYRON 240
§ 83. Der kritische Punkt 242
§ 84. Das Gesetz der korrespondierenden Zustände 245

Kapitel IX. **Lösungen** 248

§ 85. Systeme mit verschiedenartigen Teilchen 248
§ 86. Die Phasenregel. 249
§ 87. Verdünnte Lösungen 250
§ 88. Der osmotische Druck 252
§ 89. Berührung von Phasen des Lösungsmittels 253
§ 90. Das Gleichgewicht eines gelösten Stoffes in zwei Lösungsmitteln. . . . 256
§ 91. Wärmeabgabe und Volumenänderung beim Lösungsprozeß 258
§ 92. Lösungen starker Elektrolyte 261
§ 93. Gemische idealer Gase 263
§ 94. Isotopengemische 265
§ 95. Der Dampfdruck über einer konzentrierten Lösung 267
§ 96. Thermodynamische Ungleichungen für Lösungen 270
§ 97. Grenzkurven im Zustandsdiagramm 273
§ 98. Beispiele für Zustandsdiagramme 278
§ 99. Überschneidung besonderer Kurven der Gleichgewichtsfläche 283
§ 100. Gas und Flüssigkeit 284

Kapitel X. **Chemische Reaktionen** 289

§ 101. Die Bedingung für das chemische Gleichgewicht. 289
§ 102. Das Massenwirkungsgesetz 290

§ 103. Die Reaktionswärme 293
§ 104. Das Ionisationsgleichgewicht 296
§ 105. Das Gleichgewicht bei der Paarbildung 298

Kapitel XI. **Eigenschaften der Materie bei sehr hohen Dichten** 300

§ 106. Die Zustandsgleichung der Materie bei hohen Dichten 300
§ 107. Das Gleichgewicht von Körpern mit großer Masse 303
§ 108. Die Energie eines gravitierenden Körpers 309
§ 109. Das Gleichgewicht einer Neutronenkugel 311

Kapitel XII. **Fluktuationen** 316

§ 110. Die GAUSS-Verteilung 316
§ 111. Die GAUSS-Verteilung für mehrere Größen 318
§ 112. Fluktuationen der thermodynamischen Grundgrößen 321
§ 113. Fluktuationen im idealen Gas 328
§ 114. Die POISSON-Formel 329
§ 115. Fluktuationen in Lösungen 331
§ 116. Räumliche Korrelation von Dichtefluktuationen 333
§ 117. Korrelation von Dichtefluktuationen im entarteten Gas 336
§ 118. Zeitliche Korrelation von Fluktuationen 342
§ 119. Zeitliche Korrelation von Fluktuationen mehrerer Größen 345
§ 120. Die Symmetrie der kinetischen Koeffizienten 347
§ 121. Die Dissipationsfunktion 350
§ 122. Die spektrale Zerlegung von Fluktuationen 353
§ 123. Die verallgemeinerte Suszeptibilität 358
§ 124. Das Fluktuations-Dissipations-Theorem 365
§ 125. Das Fluktuations-Dissipations-Theorem für mehrere Größen 370
§ 126. Ein Operatorausdruck für die verallgemeinerte Suszeptibilität 374
§ 127. Fluktuationen der Biegung langer Moleküle 377

Kapitel XIII. **Symmetrie der Kristalle** 381

§ 128. Symmetrieelemente eines Kristallgitters 381
§ 129. Das BRAVAIS-Gitter 383
§ 130. Die Kristallsysteme 384
§ 131. Die Kristallklassen 388
§ 132. Die Raumgruppen 391
§ 133. Das reziproke Gitter 392
§ 134. Irreduzible Darstellungen der Raumgruppen 395
§ 135. Die Symmetrie gegenüber Zeitspiegelung 401
§ 136. Symmetrieeigenschaften der Normalschwingungen eines Kristallgitters 404
§ 137. Strukturen mit ein- und zweidimensionaler Periodizität 409
§ 138. Korrelationsfunktion in zweidimensionalen Systemen 413
§ 139. Orientierungssymmetrie der Moleküle 415
§ 140. Nematische und cholesterinische flüssige Kristalle 416
§ 141. Fluktuationen in flüssigen Kristallen 419

Kapitel XIV. **Phasenübergänge zweiter Art und kritische Phänomene** 423

§ 142. Phasenübergänge zweiter Art 423
§ 143. Der Sprung der Wärmekapazität 428
§ 144. Der Einfluß eines äußeren Feldes auf einen Phasenübergang 432
§ 145. Symmetrieänderung bei einem Phasenübergang zweiter Art. 436
§ 146. Fluktuationen des Ordnungsparameters 447
§ 147. Der effektive HAMILTON-Operator 453
§ 148. Kritische Indizes 457
§ 149. Die Skaleninvarianz 463
§ 150. Isolierte und kritische Punkte des stetigen Übergangs 467
§ 151. Der Phasenübergang zweiter Art in einem zweidimensionalen Gitter . . 472
§ 152. Die VAN DER WAALS-Theorie des kritischen Punktes 479
§ 153. Die Fluktuationstheorie des kritischen Punktes 484

Kapitel XV. **Oberflächen** 491

§ 154. Die Oberflächenspannung 491
§ 155. Die Oberflächenspannung von Kristallen 494
§ 156. Der Oberflächendruck 496
§ 157. Die Oberflächenspannung von Lösungen 498
§ 158. Die Oberflächenspannung von Lösungen starker Elektrolyte 500
§ 159. Die Adsorption 501
§ 160. Die Benetzung 502
§ 161. Der Randwinkel 505
§ 162. Die Keimbildung bei Phasenübergängen 507
§ 163. Unmöglichkeit der Existenz von Phasen in eindimensionalen Systemen 510

Sachverzeichnis 512