

L. D. LANDAU · E. M. LIFSCHITZ

**LEHRBUCH
DER THEORETISCHEN
PHYSIK**

v

STATISTISCHE PHYSIK

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

STATISTISCHE PHYSIK

von

L. D. LANDAU † · E. M. LIFSCHITZ

In deutscher Sprache herausgegeben

von

Prof. Dr. GÜNTER VOJTA

Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung
der Akademie der Wissenschaften der DDR und Sektion Physik
der Technischen Universität Dresden

4. Auflage

Mit 71 Abbildungen und 3 Tabellen



AKADEMIE - VERLAG · BERLIN

1975

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|--------|
| Kapitel I. Die Grundprinzipien der Statistik | 1 |
| § 1. Die statistische Verteilung | 1 |
| § 2. Die statistische Unabhängigkeit | 6 |
| § 3. Das LIOUVILLE-Theorem | 10 |
| § 4. Die Rolle der Energie | 11 |
| § 5. Die Dichtematrix | 15 |
| § 6. Die statistische Verteilung in der Quantenstatistik | 21 |
| § 7. Die Entropie | 24 |
| § 8. Das Gesetz über das Anwachsen der Entropie (Entropiesatz) | 30 |
| Kapitel II. Die thermodynamischen Größen | 36 |
| § 9. Temperatur | 36 |
| § 10. Die makroskopische Bewegung | 38 |
| § 11. Adiabatische Prozesse | 40 |
| § 12. Der Druck | 44 |
| § 13. Arbeit und Wärmemenge. | 47 |
| § 14. Enthalpie | 50 |
| § 15. Freie Energie und freie Enthalpie | 51 |
| § 16. Beziehungen zwischen den Ableitungen der thermodynamischen Größen | 54 |
| § 17. Thermodynamische Temperaturskala | 58 |
| § 18. JOULE-THOMSON-Prozeß | 59 |
| § 19. Die maximale Arbeit | 61 |
| § 20. Die von einem Körper, der sich in einem äußeren Medium befindet, geleistete maximale Arbeit | 63 |
| § 21. Thermodynamische Ungleichungen | 66 |
| § 22. Prinzip von LE CHATELIER | 69 |
| § 23. NERNST'Sches Theorem | 73 |
| § 24. Die Abhängigkeit der thermodynamischen Größen von der Teil- chenzahl | 75 |
| § 25. Gleichgewicht eines Körpers in einem äußeren Feld | 77 |
| § 26. Rotierende Körper | 79 |
| § 27. Thermodynamische Beziehungen im relativistischen Gebiet . . . | 81 |
| Kapitel III. GIBBS'Sche Verteilung. | 84 |
| § 28. GIBBS'Sche Verteilung | 84 |
| § 29. MAXWELL'Sche Verteilung | 87 |

| | |
|--|-----|
| § 30. Wahrscheinlichkeitsverteilung für einen Oszillator | 92 |
| § 31. Freie Energie in der GIBBSschen Verteilung | 95 |
| § 32. Thermodynamische Störungstheorie | 100 |
| § 33. Entwicklung nach Potenzen von \hbar | 103 |
| § 34. GIBBSsche Verteilung für rotierende Körper. | 109 |
| § 35. GIBBSsche Verteilung mit variabler Teilchenzahl. | 111 |
| § 36. Ableitung der thermodynamischen Beziehungen aus der GIBBS- schen Verteilung | 115 |
| Kapitel IV. Ideales Gas | 117 |
| § 37. BOLTZMANN-Verteilung | 117 |
| § 38. BOLTZMANN-Verteilung in der klassischen Statistik. | 119 |
| § 39. Stöße von Molekülen | 121 |
| § 40. Ideales Gas im Nichtgleichgewichtszustand | 124 |
| § 41. Freie Energie eines idealen BOLTZMANN-Gases | 127 |
| § 42. Zustandsgleichung des idealen Gases | 128 |
| § 43. Ideales Gas mit konstanter spezifischer Wärme | 131 |
| § 44. Gleichverteilungssatz | 136 |
| § 45. Einatomiges ideales Gas | 139 |
| § 46. Einatomiges Gas. Der Einfluß des Elektronendrehimpulses | 142 |
| § 47. Zweiatomiges Gas mit Molekülen aus verschiedenartigen Atomen. Die Rotation der Moleküle | 144 |
| § 48. Zweiatomiges Gas mit Molekülen aus gleichartigen Atomen. Die Rotation der Moleküle | 148 |
| § 49. Zweiatomiges Gas. Die Atomschwingungen. | 151 |
| § 50. Zweiatomiges Gas. Der Einfluß des Elektronendrehimpulses | 154 |
| § 51. Vielatomiges Gas | 155 |
| Kapitel V. Die FERMI- und BOSE-Verteilungen | 160 |
| § 52. FERMI-Verteilung | 160 |
| § 53. BOSE-Verteilung. | 161 |
| § 54. FERMI- und BOSE-Gase, welche sich nicht im Gleichgewicht be- finden | 162 |
| § 55. FERMI- und BOSE-Gase von Elementarteilchen | 164 |
| § 56. Entartetes Elektronengas. | 168 |
| § 57. Die spezifische Wärme des entarteten Elektronengases | 171 |
| § 58. Relativistisches entartetes Elektronengas. | 173 |
| § 59. Entartetes BOSE-Gas. | 176 |
| § 60. Die Wärmestrahlung. | 179 |
| Kapitel VI. Kondensierte Körper | 187 |
| § 61. Festkörper. Tiefe Temperaturen | 187 |
| § 62. Festkörper. Hohe Temperaturen | 191 |
| § 63. Interpolationsformel von DEBYE | 194 |
| § 64. Wärmeausdehnung fester Körper | 198 |
| § 65. Phononen | 200 |
| § 66. Quantenflüssigkeit. Spektrum vom BOSE-Typ. | 207 |
| § 67. Superfluidität. | 210 |
| § 68. Quantenflüssigkeit. Spektrum vom FERMI-Typ | 216 |

| | |
|---|-----|
| § 69. Das Elektronenspektrum der Metalle | 223 |
| § 70. Das Elektronenspektrum fester Dielektrika | 230 |
| § 71. Negative Temperaturen | 232 |
| Kapitel VII. Reale Gase | 235 |
| § 72. Abweichung des Verhaltens der Gase vom Idealtyp | 235 |
| § 73. Entwicklung nach Potenzen der Dichte | 240 |
| § 74. VAN DER WAALS-Gleichung | 242 |
| § 75. Vollständig ionisiertes Gas | 246 |
| § 76. Methode der Korrelationsfunktionen | 250 |
| § 77. Quantenmechanische Berechnung der Virialkoeffizienten | 252 |
| § 78. Entartetes „fastideales“ BOSE-Gas | 256 |
| § 79. Entartetes „fastideales“ FERMI-Gas mit Abstoßung zwischen den Teilchen | 263 |
| § 80. Entartetes „fastideales“ FERMI-Gas mit Anziehung zwischen den Teilchen | 269 |
| Kapitel VIII. Phasengleichgewicht | 280 |
| § 81. Bedingungen für das Phasengleichgewicht | 280 |
| § 82. Formel von CLAUDIUS-CLAPEYRON | 284 |
| § 83. Der kritische Punkt | 286 |
| § 84. Eigenschaften der Materie in der Nähe des kritischen Punktes | 289 |
| § 85. Gesetz der korrespondierenden Zustände | 294 |
| Kapitel IX. Lösungen | 297 |
| § 86. Systeme mit verschiedenartigen Teilchen | 297 |
| § 87. Phasenregel | 298 |
| § 88. Verdünnte Lösungen | 300 |
| § 89. Osmotischer Druck | 301 |
| § 90. Berührung von Phasen des Lösungsmittels | 303 |
| § 91. Gleichgewicht in bezug auf den gelösten Stoff | 306 |
| § 92. Wärmeabgabe und Volumenänderung bei einem Lösungsprozeß | 308 |
| § 93. Der gegenseitige Einfluß der gelösten Stoffe | 311 |
| § 94. Lösungen starker Elektrolyte | 312 |
| § 95. Gemisch idealer Gase | 315 |
| § 96. Isotopengemische | 317 |
| § 97. Dampfdruck über konzentrierten Lösungen | 320 |
| § 98. Thermodynamische Ungleichungen in Lösungen | 322 |
| § 99. Grenzkurven | 326 |
| § 100. Beispiele für Zustandsdiagramme | 332 |
| § 101. Das Überschneiden besonderer Kurven der Gleichgewichtsfläche | 337 |
| § 102. Gas und Flüssigkeit | 338 |
| Kapitel X. Chemische Reaktionen | 342 |
| § 103. Bedingung für das chemische Gleichgewicht | 342 |
| § 104. Massenwirkungsgesetz | 343 |
| § 105. Reaktionswärme | 346 |
| § 106. Ionisationsgleichgewicht | 349 |
| § 107. Gleichgewicht in bezug auf Paarbildung | 351 |

| | |
|---|-----|
| Kapitel XI. Eigenschaften der Materie bei sehr hohen Dichten | 354 |
| § 108. Zustandsgleichung der Materie bei hohen Dichten | 357 |
| § 109. Gleichgewicht von Körpern mit großer Masse | 354 |
| § 110. Energie eines gravitierenden Körpers | 364 |
| § 111. Gleichgewicht einer „Neutronenkugel“ | 367 |
| Kapitel XII. Fluktuationen | 372 |
| § 112. GAUSS-Verteilung | 372 |
| § 113. GAUSS-Verteilung für mehrere Größen | 375 |
| § 114. Fluktuationen der thermodynamischen Grundgrößen | 378 |
| § 115. Fluktuationen im idealen Gas | 385 |
| § 116. Die POISSON-Formel | 387 |
| § 117. Fluktuationen in Lösungen | 389 |
| § 118. Korrelation von Fluktuationen | 391 |
| § 119. Fluktuationen am kritischen Punkt | 394 |
| § 120. Korrelationen von Fluktuationen im idealen Gas | 397 |
| § 121. Korrelationen von zeitlichen Fluktuationen | 402 |
| § 122. Symmetrie der kinetischen Koeffizienten | 407 |
| § 123. Dissipationsfunktion | 412 |
| § 124. Zeitliche Korrelation von Fluktuationen mehrerer Größen | 415 |
| § 125. Die verallgemeinerte Suszeptibilität | 419 |
| § 126. Nichtthermodynamische Fluktuationen einer Größe | 426 |
| § 127. Nichtthermodynamische Fluktuationen mehrerer Größen | 431 |
| Kapitel XIII. Kristallsymmetrie | 437 |
| § 128. Symmetrie der Lage der Teilchen im Körper | 437 |
| § 129. Symmetrie der Orientierung der Moleküle | 440 |
| § 130. Symmetrieelemente des Kristallgitters | 441 |
| § 131. BRAVAIS-Gitter | 443 |
| § 132. Kristallsysteme | 445 |
| § 133. Die Kristallklassen | 449 |
| § 134. Die Raumgruppen | 452 |
| § 135. Das reziproke Gitter | 453 |
| § 136. Irreduzible Darstellungen der Raumgruppen | 456 |
| Kapitel XIV. Phasenübergänge zweiter Art | 462 |
| § 137. Phasenübergänge zweiter Art | 462 |
| § 138. Der Sprung der spezifischen Wärme | 467 |
| § 139. Symmetrieänderung bei einem Phasenübergang zweiter Art | 472 |
| § 140. Isolierte und kritische Punkte des stetigen Übergangs | 485 |
| § 141. Phasenübergang zweiter Art in einem zweidimensionalen Gitter | 487 |
| Kapitel XV. Oberflächen | 496 |
| § 142. Oberflächenspannung | 496 |
| § 143. Oberflächenspannung von Kristallen | 499 |
| § 144. Oberflächendruck | 502 |

| | |
|---|-----|
| § 145. Oberflächenspannung von Lösungen | 504 |
| § 146. Oberflächenspannung von Lösungen starker Elektrolyte | 505 |
| § 147. Adsorption | 507 |
| § 148. Benetzung | 509 |
| § 149. Der Randwinkel. | 512 |
| § 150. Keimbildung bei Phasenübergängen | 514 |
| § 151. Fluktuationen der Biegung langer Moleküle. | 518 |
| § 152. Unmöglichkeit der Existenz von Phasen in eindimensionalen Systemen. | 522 |
| Sachverzeichnis | 523 |