

目 次

| | |
|---------------------|----|
| 1. 序 論 | 1 |
| 2. 熱力学の基礎 | 7 |
| A. はじめに | 7 |
| B. 状態変数と完全微分 | 8 |
| C. 状態方程式 | 12 |
| 1. 理想気体の法則 | 12 |
| 2. ビリアル展開 | 12 |
| 3. ファン・デル・ワールス状態方程式 | 13 |
| 4. 固 体 | 15 |
| 5. 引きのばされた針金 | 15 |
| 6. 表 面 張 力 | 15 |
| 7. 電 気 分 極 | 15 |
| 8. キュリーの法則 | 16 |
| D. 熱力学の法則 | 16 |
| 1. 第 0 法 則 | 17 |
| 2. 第 1 法 則 | 17 |
| 3. 第 2 法 則 | 18 |
| 4. 第 3 法 則 | 26 |
| E. 熱力学の基礎方程式 | 27 |
| F. 熱力学ポテンシャル | 29 |
| 1. 内部エネルギー | 29 |
| 2. エンタルピー | 32 |
| 3. ヘルムホルツの自由エネルギー | 33 |
| 4. ギブスの自由エネルギー | 35 |
| 5. グランドポテンシャル | 36 |
| 6. 熱力学ポテンシャル密度 | 38 |

| | | |
|----|------------------------|----|
| G. | 応答関数 | 38 |
| 1. | 熱容量 | 39 |
| 2. | PVT 系に対する力学的応答関数 | 41 |
| 3. | 磁性体に対する力学的応答関数 | 41 |
| H. | 平衡状態の安定性 | 42 |
| 1. | PVT 系における局所平衡の条件 | 42 |
| 2. | 局所安定の条件 | 44 |
| 3. | 自由エネルギーに対する安定性の必要条件の意味 | 47 |
| I. | 古典的理想気体の熱力学的性質 | 48 |
| 1. | 内部エネルギーとエントロピー | 49 |
| 2. | エンタルピー | 50 |
| 3. | ヘルムホルツおよびギブスの自由エネルギー | 50 |
| 3. | 熱力学の応用 | 55 |
| A. | はじめに | 55 |
| B. | 気体の冷却と液化 | 56 |
| 1. | ジュール効果：自由膨張 | 56 |
| 2. | ジュール-トムソン効果：スロットリング | 58 |
| C. | 混合のエントロピーとギブスのパラドックス | 62 |
| D. | 希薄溶液における浸透圧 | 64 |
| E. | 化学反応の熱力学 | 67 |
| 1. | 親和力 | 67 |
| 2. | 安定性 | 70 |
| 3. | 質量作用の法則と反応熱 | 71 |
| F. | 熱力学的（噴水）効果 | 73 |
| 4. | 相転移の熱力学 | 78 |
| A. | はじめに | 78 |
| B. | 相の共存：ギブスの相律 | 80 |
| C. | 相転移の分類 | 82 |
| D. | 純粋 PVT 系 | 84 |
| 1. | 相図 | 84 |
| 2. | 共存曲線：クラウジウス-クラペイロンの式 | 86 |
| 3. | 液相-気相共存領域 | 89 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 4. ファン・デル・ワールス方程式 | 93 |
| E. 正則二元溶液 | 96 |
| F. ギンツブルク-ランダウ理論: λ 点 | 100 |
| G. キュリー点 | 103 |
| H. 超伝導体 | 105 |
| 1. 実験事実 | 105 |
| 2. 超伝導のギンツブルク-ランダウ理論 | 109 |
| I. 液体ヘリウム | 113 |
| 1. 液体 ^4He | 114 |
| 2. 液体 ^3He | 115 |
| J. 臨界指数 | 117 |
| K. 純粋 PVT 系に対する臨界指数 | 119 |
| 1. 実験値 | 119 |
| 2. ファン・デル・ワールス方程式 | 120 |
| L. キュリー点に対する臨界指数 | 123 |
| 1. 臨界等温曲線の次数 | 124 |
| 2. 磁氣的臨界指数 | 125 |
| 3. 熱容量 | 125 |
| 4. 帯磁率 | 125 |
| 5. 基礎的確率論 | 129 |
| A. はじめに | 129 |
| B. 順列と組合せ | 129 |
| C. 確率の定義 | 130 |
| D. 分布関数 | 132 |
| 1. 離散確率変数 | 133 |
| 2. 連続確率変数 | 134 |
| 3. 結合確率分布 | 136 |
| E. 2項分布 | 137 |
| 1. 2項分布 | 138 |
| 2. ガウス(正規)分布 | 139 |
| 3. ポアソン分布 | 141 |
| F. 乱歩 | 142 |
| G. 中心極限定理 | 143 |
| H. 大数の法則 | 145 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 6. マスター方程式 | 149 |
| A. はじめに | 149 |
| B. マスター方程式の導出 | 150 |
| C. マルコフ連鎖 | 154 |
| 1. 正則遷移行列 | 155 |
| 2. 吸収状態のある遷移行列 | 157 |
| D. 乱歩と拡散方程式 | 158 |
| E. 離散定常マルコフ過程：一般解 | 160 |
| F. 出生-死亡過程 | 163 |
| G. マスター方程式の展開 | 165 |
| H. マルサス-フェルハルスト方程式 | 170 |
| 7. 力学系における確率分布 | 176 |
| A. はじめに | 176 |
| B. 流体としての確率密度 | 178 |
| C. BBGKY 階級 | 183 |
| D. 微視的なつり合いの方程式（古典流体） | 186 |
| 1. 粒子密度に対するつり合いの方程式 | 187 |
| 2. 運動量密度に対するつり合いの方程式 | 188 |
| 3. エネルギー密度に対するつり合いの方程式 | 189 |
| E. 確率密度演算子 | 190 |
| F. 縮約密度演算子 | 192 |
| G. ウィグナー関数 | 196 |
| H. 微視的なつり合いの方程式（量子流体） | 200 |
| 8. エルゴード理論 | 205 |
| A. はじめに | 205 |
| B. エルゴード的流れ | 206 |
| C. 混合的流れ | 211 |
| D. 非調和振動子系 | 214 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 9. 平衡状態の統計力学：一般論および厳密に解けるモデル | 225 |
| A. はじめに | 225 |
| B. 平衡系のアンサンブル | 228 |
| 1. 閉じた孤立系：ミクロカノニカルアンサンブル | 229 |
| 2. 閉じた系：カノニカルアンサンブル | 233 |
| 3. 開いた系：グランドカノニカルアンサンブル | 236 |
| C. 固体の比熱 | 239 |
| 1. 固体の古典理論 | 239 |
| 2. アインシュタインの固体理論 | 240 |
| 3. デバイの固体理論 | 242 |
| D. 理想気体 | 246 |
| 1. 古典的理想気体：運動論 | 246 |
| 2. 量子理想気体：グランドカノニカルアンサンブル | 248 |
| 3. マクスウェル-ボルツマン気体 | 250 |
| 4. ボーズ-アインシュタイン気体 | 252 |
| 5. フェルミ-ディラック気体 | 257 |
| E. 相互作用のあるフェルミ気体での運動量の凝縮（超伝導） | 261 |
| F. 秩序-無秩序転移 | 269 |
| 1. 一般的議論 | 269 |
| 2. イジング・モデルの二つの応用 | 273 |
| 3. イジング・モデルのブラッグ-ウィリアムズ近似 | 274 |
| 4. イジング・モデルの厳密解 | 278 |
| G. 相転移に関するリー-ヤンの定理 | 281 |
| H. ファン・デル・ワールス方程式 | 286 |
| 1. ファン・デル・ワールス方程式の導出 | 286 |
| 2. マクスウェルの面積則 | 289 |
| 10. 平衡状態での揺らぎと臨界現象 | 296 |
| A. はじめに | 296 |
| B. アインシュタインの揺らぎの理論 | 297 |
| 1. 一般的議論 | 297 |
| 2. 流体系への応用 | 299 |
| C. 相関関数と応答関数 | 302 |
| 1. 一般的関係 | 302 |

2. 流体系への応用.....303

3. スピン系への応用.....304

D. スケーリング.....306

1. 同次関数.....306

2. ウィドムのスケーリング.....307

3. カダノフのスケーリング.....310

E. 臨界指数の微視的計算.....313

F. 三角格子の臨界指数.....316

G. ガウス・モデルでの臨界指数.....320

H. S^4 モデル.....323

索引.....1