

|      |                       |    |
|------|-----------------------|----|
| 第1章  | 状態方程式、熱力学の第1法則と第2法則   | 1  |
| 1.1  | 熱平衡状態                 | 1  |
| 1.2  | 状態方程式                 | 2  |
| 1.3  | 理想気体と絶対温度             | 3  |
| 1.4  | 仕事、準静的過程と $V$ - $P$ 図 | 4  |
| 1.5  | 熱と熱容量                 | 8  |
| 1.6  | 熱力学の第1法則              | 9  |
| 1.7  | 第1法則の流体への応用           | 11 |
| 1.8  | 気体の自由膨張に関する Joule の実験 | 13 |
| 1.9  | 状態の断熱変化               | 15 |
| 1.10 | 熱力学の第2法則              | 17 |
| 1.11 | Carnot サイクル           | 19 |
| 1.12 | Carnot の定理            | 21 |
| 1.13 | 熱機関と冷凍庫               | 24 |
|      | 演習問題                  | 25 |
| 第2章  | エントロピーと熱力学的関係式        | 29 |
| 2.1  | Clausius の定理          | 29 |
| 2.2  | エントロピー                | 34 |
| 2.3  | エントロピーのいくつかの重要な性質     | 37 |
| 2.4  | 完全微分                  | 40 |
| 2.5  | 気体のエントロピーと熱力学的関係式     | 42 |
| 2.6  | Helmholtz の自由エネルギー    | 44 |
| 2.7  | Gibbs の自由エネルギー        | 46 |
| 2.8  | Maxwell の関係式          | 49 |
| 2.9  | 熱容量                   | 54 |
| 2.10 | 二つの熱力学的不等式            | 58 |

|                                   |                              |     |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|
| 2.11                              | 熱力学の第3法則 .....               | 60  |
| 2.12                              | 系と外界.....                    | 62  |
| 2.13                              | Gibbs-Duhem の関係式.....        | 65  |
| 2.14                              | 極値原理と熱平衡状態 .....             | 66  |
|                                   | 演習問題.....                    | 69  |
| <b>第3章 統計力学とマクロな理論</b> 73         |                              |     |
| 3.1                               | 流体力学と基本発展方程式 .....           | 73  |
| 3.2                               | 流体力学と統計力学 .....              | 78  |
| 3.3                               | 熱力学と統計力学 .....               | 81  |
|                                   | 演習問題.....                    | 82  |
| <b>第4章 統計集団と Liouville の定理</b> 85 |                              |     |
| 4.1                               | 古典力学と確率 .....                | 85  |
| 4.2                               | Liouville の定理 .....          | 91  |
| 4.3                               | Liouville 方程式 .....          | 96  |
|                                   | 演習問題.....                    | 98  |
| <b>第5章 統計的平衡と一様集団</b> 103         |                              |     |
| 5.1                               | 一様集団と統計的平衡 .....             | 104 |
| 5.2                               | エネルギーに関する先験的等確率の原理 .....     | 106 |
| 5.3                               | エルゴード仮説 .....                | 108 |
| 5.4                               | まとめ .....                    | 110 |
|                                   | 演習問題.....                    | 111 |
| <b>第6章 Gibbs 集団</b> 113           |                              |     |
| 6.1                               | ミクロカノニカル集団 .....             | 113 |
| 6.2                               | カノニカル集団 .....                | 114 |
| 6.3                               | グランドカノニカル集団 .....            | 115 |
| 6.4                               | 変数の相補性とゆらぎについての注釈 .....      | 116 |
|                                   | 演習問題.....                    | 117 |
| <b>第7章 古典的ミクロカノニカル集団</b> 119      |                              |     |
| 7.1                               | 微視的状態数と分布関数 .....            | 119 |
| 7.2                               | 微視的状態数の計算 (自由粒子気体への適用) ..... | 122 |
| 7.3                               | エントロピー .....                 | 126 |

|                                |                            |     |
|--------------------------------|----------------------------|-----|
| 7.4                            | 自由粒子系のエントロピーと粒子非識別性        | 129 |
| 7.5                            | 混合のエントロピー                  | 132 |
| 7.6                            | Gibbsのパラドックス               | 135 |
| 7.7                            | $\mu$ 空間上の系の統計的エントロピー      | 137 |
| 7.8                            | 熱力学第1法則の確率的解釈              | 140 |
| 7.9                            | ミクロカノニカル集団の難点              | 142 |
|                                | 演習問題                       | 142 |
| <b>第8章 古典的カノニカル集団 145</b>      |                            |     |
| 8.1                            | 全系の熱平衡と部分系の熱平衡             | 145 |
| 8.2                            | 部分系の確率分布について               | 148 |
| 8.3                            | カノニカル分布関数の導出               | 150 |
| 8.4                            | $\Gamma$ 空間上の系の統計的エントロピー   | 153 |
| 8.5                            | カノニカル集団の熱力学ポテンシャル          | 156 |
| 8.6                            | 自由粒子気体への適用                 | 158 |
| 8.7                            | ゆらぎについて                    | 161 |
| 8.8                            | カノニカル集団の難点                 | 163 |
|                                | 演習問題                       | 164 |
| <b>第9章 古典的グランドカノニカル集団 167</b>  |                            |     |
| 9.1                            | 粒子数平衡                      | 167 |
| 9.2                            | グランドカノニカル分布関数の導出           | 169 |
| 9.3                            | グランドカノニカル集団の熱力学ポテンシャル      | 171 |
| 9.4                            | 自由粒子気体への適用                 | 173 |
| 9.5                            | 粒子数のゆらぎの評価                 | 174 |
|                                | 演習問題                       | 177 |
| <b>第10章 Gibbs集団の熱力学等価性 179</b> |                            |     |
| 10.1                           | 各特性関数間における変換関係             | 179 |
| 10.2                           | 鞍部点法による状態密度の漸近評価           | 181 |
|                                | 演習問題                       | 184 |
| <b>第11章 量子力学と確率 187</b>        |                            |     |
| 11.1                           | 量子力学における基本的要請              | 187 |
| 11.2                           | 位置・運動量表示とSchrödinger波動方程式  | 191 |
| 11.3                           | Schrödinger描像とHeisenberg描像 | 195 |

|                                |                                        |     |
|--------------------------------|----------------------------------------|-----|
| 11.4                           | 量子力学における系の状態 .....                     | 197 |
| 11.5                           | 期待値と密度演算子 .....                        | 197 |
| 11.6                           | 量子Liouville方程式 .....                   | 203 |
|                                | 演習問題 .....                             | 205 |
| <b>第12章 量子統計力学の基礎 207</b>      |                                        |     |
| 12.1                           | 置換群 .....                              | 207 |
| 12.2                           | 奇置換と偶置換 .....                          | 212 |
| 12.3                           | 識別不可能な古典粒子 .....                       | 217 |
| 12.4                           | 量子統計の仮説・ボソンに対する対称状態 .....              | 221 |
| 12.5                           | フェルミオンに対する反対称状態とPauliの排他原理 .....       | 223 |
| 12.6                           | ボソンとフェルミオン (続き), 量子統計とスピン .....        | 227 |
| 12.7                           | 占有数表示 .....                            | 230 |
|                                | 演習問題 .....                             | 233 |
| <b>第13章 量子的カノニカル集団 235</b>     |                                        |     |
| 13.1                           | 密度演算子と量子論での集団平均 .....                  | 235 |
| 13.2                           | カノニカル密度演算子 .....                       | 236 |
| 13.3                           | 量子分配関数 .....                           | 240 |
|                                | 演習問題 .....                             | 247 |
| <b>第14章 量子的グランドカノニカル集団 249</b> |                                        |     |
| 14.1                           | グランドカノニカル密度演算子と量子大分配関数 .....           | 249 |
| 14.2                           | 自由量子気体に対する大分配関数の計算 .....               | 252 |
| 14.3                           | Bose分布関数とFermi分布関数 .....               | 257 |
|                                | 演習問題 .....                             | 260 |
| <b>第15章 量子統計の古典的極限 263</b>     |                                        |     |
| 15.1                           | 古典的極限 .....                            | 263 |
| 15.2                           | 分配関数の古典的極限 .....                       | 264 |
|                                | 演習問題 .....                             | 268 |
| <b>第16章 古典統計力学の適用可能性 271</b>   |                                        |     |
| 16.1                           | 実験からの考察 .....                          | 271 |
| 16.2                           | 極限での量子統計の近似: Maxwell-Boltzmann分布 ..... | 274 |
|                                | 演習問題 .....                             | 279 |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| <b>第17章 分配関数のクラスター展開と摂動展開</b>         | <b>281</b> |
| 17.1 配置分配関数のクラスター展開 .....             | 281        |
| 17.2 熱力学的摂動論と分配関数の摂動展開 .....          | 287        |
| 演習問題 .....                            | 291        |
| <b>第18章 金属の自由電子と Fermi 液体</b>         | <b>295</b> |
| 18.1 金属中の伝導電子 .....                   | 295        |
| 18.2 自由電子と Fermi エネルギー .....          | 298        |
| 18.3 状態密度 .....                       | 304        |
| 18.4 縮退した電子の熱容量 (定性的議論) .....         | 308        |
| 18.5 縮退した電子の熱容量 (定量的計算) .....         | 310        |
| 18.6 独立電子近似と Fermi 液体モデル .....        | 316        |
| 18.7 Fermi 液体モデルの量子統計的導出 .....        | 318        |
| 演習問題 .....                            | 319        |
| <b>第19章 静磁場中の自由電子</b>                 | <b>327</b> |
| 19.1 電磁場中での荷電粒子の運動 .....              | 327        |
| 19.2 磁場中の電子気体 .....                   | 333        |
| 19.3 一様な磁場中の電子気体に対する熱力学的ポテンシャル .....  | 342        |
| 19.4 磁化と帯磁率 .....                     | 347        |
| 演習問題 .....                            | 350        |
| <b>第20章 Bose 気体と Bose-Einstein 凝縮</b> | <b>353</b> |
| 20.1 自由 Bose 気体 .....                 | 353        |
| 20.2 凝縮相にあるボソン .....                  | 358        |
| 20.3 自由 Bose 気体の内部エネルギー .....         | 362        |
| 20.4 自由 Bose 気体の比熱 .....              | 363        |
| 演習問題 .....                            | 366        |
| <b>第21章 第2量子化と運動方程式の方法</b>            | <b>369</b> |
| 21.1 ボソンの生成・消滅演算子 .....               | 369        |
| 21.2 ボソン系のオブザーバブル .....               | 373        |
| 21.3 フェルミオンの生成・消滅演算子 .....            | 374        |
| 21.4 運動量 (位置) 空間における第2量子化 .....       | 376        |
| 21.5 1体問題への還元 .....                   | 378        |

|                                         |                                  |     |
|-----------------------------------------|----------------------------------|-----|
| 21.6                                    | 1体密度演算子と密度行列 .....               | 381 |
| 21.7                                    | エネルギー固有値問題 .....                 | 384 |
|                                         | 演習問題 .....                       | 387 |
| 付録A 本書で用いた記号一覧表 391                     |                                  |     |
| 付録B 熱力学的諸量, 微視的状态数, 確率分布関数, 分配関数の関係 399 |                                  |     |
| 付録C 数学公式 401                            |                                  |     |
| C.1                                     | Stirlingの公式 .....                | 401 |
| C.2                                     | $N$ 次元超球の体積と表面積 .....            | 403 |
| C.3                                     | Heavisideの階段関数 .....             | 405 |
| C.4                                     | デルタ関数 .....                      | 405 |
| C.5                                     | 級数 .....                         | 406 |
| C.6                                     | ゼータ関数 .....                      | 407 |
| C.7                                     | ガンマ関数 .....                      | 407 |
| C.8                                     | 積分 .....                         | 408 |
| C.9                                     | Jacobi変換 .....                   | 414 |
| C.10                                    | Laplace変換 .....                  | 415 |
| C.11                                    | 演算子に対する数学公式 .....                | 417 |
| C.12                                    | Poissonの和公式 .....                | 418 |
| C.13                                    | 行列と行列式 .....                     | 421 |
| 付録D Lagrangeの未定乗数法 425                  |                                  |     |
| 付録E 鞍部点法 427                            |                                  |     |
| E.1                                     | カノニカル分配関数とグランドカノニカル分配関数の関係 ..... | 429 |
| 付録F Liouvilleの定理の証明 431                 |                                  |     |
| 付録G 状態密度の導出 437                         |                                  |     |
| 参考文献 441                                |                                  |     |
| 索引 445                                  |                                  |     |