## 目 次

| 11. | 古  | 典 流 体335   |
|-----|----|--|
|     | A. | は じ め に335   |
|     | B. | 熱力学と動径分布関数 ·····336  |
|     |    | 1. 縮約された確率密度 ·······336                                      |
|     |    | 2. 熱力学と縮約された確率密度 · · · · · · · · · · · · · · · · · · 338     |
|     | C. | 状態方程式のビリアル展開341  |
|     |    | 1. クラスター関数のビリアル展開342   |
|     |    | 2. 2次のビリアル係数348  |
|     |    | 3. 3次のビリアル係数352  |
|     |    | 4. 高次のビリアル係数356  |
|     | D. | 縮約された確率密度のビリアル展開 ・・・・・・・・・・358                               |
|     | E. | オルンシュタイン-ゼルニケ方程式と近似法362                                      |
|     | F. | 重ね合せの原理 ・・・・・・・・・・・・・・・・・366                                 |
|     | G. | 高密な流体の実験結果 ・・・・・・・・・・・・・・・369                                |
|     | H. | 摂 動 理 論 ······372  |
|     | I. | ビリアル係数の量子補正 ······373  |
|     |    | 1. 理想量子気体  |
|     |    | 2. 相互作用のある量子気体 ・・・・・・・・・375                                  |
|     |    |  |
| 12. | 量  | 子 流 体381   |
|     | A. | は じ め に  |
|     | B. | 通常ボーズ流体およびフェルミ流体のグランドポテンシャル ・・・・・・・・・・382                    |
|     |    | 1. グランドポテンシャルのキュミュラント展開 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ |
|     |    | 2. ウィックの定理 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・              |
|     |    | 3. ダイアグラム387   |

|     | C. | 直接相互作用および交換相互作用 ··············395   |
|-----|----|---|
|     | D. | 電子気体397   |
|     |    | 1. 有効ハミルトニアン397   |
|     |    | 2. 分極ダイアグラム402  |
|     |    | 3. 古典電子気体 · · · · · · · · 404   |
|     |    | 4. 絶対零度極限406  |
|     | E. | 通常ボーズ流体およびフェルミ流体のプロパゲータ · · · · · · · · · · · · · 408                       |
|     |    | 1. 物 理 的 説 明 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·                            |
|     |    | 2. ダイアグラム展開411  |
|     | F. | ダイソン方程式と自己エネルギーの構造414   |
|     | G. | 弱く結合したフェルミ流体の低温での励起417  |
|     | H. | 絶対零度での弱く結合した凝縮ボーズ流体 ·····421  |
|     |    | 1. 厳密なプロパゲータ421   |
|     |    | 2. ダイソン方程式425   |
|     |    | 3. 化学ポテンシャル ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・                            |
|     |    | 4. 励 起428   |
|     |    |   |
| 13. | 初争 | 等輸送理論 ·······   |
|     | A. | はじめに432   |
|     | В. | 初等分子運動論 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·                               |
|     |    | 1. 平均自由行程 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·                             |
|     |    | 2. 衝 突 頻 度434   |
|     |    | 3. 自己拡散436  |
|     |    | 4. 粘性係数と熱伝導度438   |
|     |    | 5. 反 応 速 度440   |
|     | C. | ボルツマン方程式444   |
|     |    | 1. 2 体 散 乱 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·                              |
|     |    | 2. ボルツマン方程式の導出 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・                         |
|     |    | 3. ボルツマンの H 定理 · · · · · · · · · 448  |
|     | D. | 2 成分系に対する線形化されたボルツマン方程式449  |
|     | E. | 自己拡散係数 · · · · · · · · · 453  |
|     |    | 1. 線形化された流体力学方程式 ····································                       |
|     |    | <ol> <li>ローレンツ-ボルツマン方程式の固有振動数・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ol> |
|     | F. | 粘性係数と熱伝導度 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·                             |
|     |    | 1. 流体力学方程式の正規モード振動数   |
|     |    |   |

|     |    | 2. ボルツマン方程式の固有振動数462                                  |
|-----|----|---|
|     | G. | ソーニン多項式 ·········465                                  |
|     | H. | 量子輸送方程式 · · · · · · · 468                             |
|     |    | 1. 基本的モデル468  |
|     |    | 2. Bogoliubov の仮定······470                            |
|     |    | 3. 輸送方程式472   |
|     |    | 4. 空間的に一様な系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・      |
|     |    |   |
| 14. | 流位 | \$力学とオンサーガーの関係式 ···············480                    |
|     | A. | は じ め に480  |
|     | B. | オンサーガーの関係式 ······480                                  |
|     |    | 1. 時間依存相関関数と微視的可逆性481                                 |
|     |    | 2. 揺らぎの減衰 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・        |
|     | C. | 磁場がある場合のオンサーガーの関係式 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・484  |
|     | D. | 力学熱効果と熱分子圧効果 ······486                                |
|     |    | 1. 力学熱効果 ······488                                    |
|     |    | 2. 熱分子圧効果 ······489                                   |
|     | E. | エントロピー生成最小の原理 ・・・・・・・・・・・・・・・490                      |
|     | F. | 1 成分正常等方流体 ······494                                  |
|     |    | 1. 質量保存: 連続の式 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・    |
|     |    | 2. 運動量のつり合い方程式 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·  |
|     |    | 3. エネルギーとエントロピーのつり合い方程式 · · · · · · · · · · · · · 495 |
|     | G. | 化学反応を伴う多成分流体・・・・・・・・・・・・・・・・498                       |
|     | H. | 超流動流体力学 · · · · · · · · 503                           |
|     |    | 1. 流体力学方程式 · · · · · · · 503                          |
|     |    | 2. 第 1 音 波  |
|     |    | 3. 第 2 音 波  |
|     |    |   |
| 15. | 揺動 | b-散逸定理 ······513                                      |
|     | A. | はじめに513   |
|     | B. | ウィーナー-ヒンチンの定理 ······514                               |
|     |    | 1. 時間に依存する相関行列の性質 ・・・・・・・・・514                        |
|     |    | 2. スペクトル密度行列 ・・・・・・・・・・・514                           |
|     |    | 3. スペクトル密度行列と磁場516                                    |

|     | C. 因果律と応答行列 ·······                              |   |  |  |  |  |
|-----|--|---|--|--|--|--|
|     | D.   | 摇動-散逸定理·····521   |  |  |  |  |
|     | E.   | パヮ-吸収・・・・・・・522   |  |  |  |  |
|     |  | 1. デルタ関数の力 ・・・・・・・・・523                                   |  |  |  |  |
|     |  | 2. 振動するカ523   |  |  |  |  |
|     | F.   | 調和的な力をうけたブラウン粒子524  |  |  |  |  |
|     | G.   | 光 散 乱   |  |  |  |  |
|     |  | 1. 光散乱の現象論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・527                      |  |  |  |  |
|     |  | 2. 散乱光の強さ   |  |  |  |  |
|     |  | 3. 散乱強度に対する流体力学的表式 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·  |  |  |  |  |
|     | H.   | <b> </b>  |  |  |  |  |
|     | 流体力学と線形応答理論 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ |   |  |  |  |  |
|     | 射影演算子による相関関数541                                  |   |  |  |  |  |
|     | K.   | 流体力学方程式の一般的定義 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・        |  |  |  |  |
|     |  | 1. 流体力学方程式の一般的な形 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・     |  |  |  |  |
|     |  | 2. 流体力学的モード:保存量 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·     |  |  |  |  |
|     |  | 3. 流体力学的モード: 対称性の破れ ····································  |  |  |  |  |
|     | L.   | 強磁性の系・・・・・・・550   |  |  |  |  |
|     | M.   | 超流動体における対称性の破れ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・       |  |  |  |  |
|     |  |   |  |  |  |  |
| 16. | 巨田   | <b>5間のべき乗的ふるまい ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥</b>                             |  |  |  |  |
| 10. | Жн   |   |  |  |  |  |
|     | A.   | は じ め に559  |  |  |  |  |
|     | В.   | 長時間のべき乗的ふるまいの流体力学的起源 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ |  |  |  |  |
|     | C.   | 速度自己相関関数のビリアル展開   |  |  |  |  |
|     | D.   | ビリアル係数に対する微視的表式   |  |  |  |  |
|     |  | 1. 2 体衝突展開  |  |  |  |  |
|     |  | 2. 自己エネルギーのリング近似  |  |  |  |  |
|     |  | 3. 2体衝突演算子 ······574                                      |  |  |  |  |
|     | E.   | 長時間のべき乗的ふるまいの微視的表式  |  |  |  |  |
|     | F.   | 流体力学について581   |  |  |  |  |
|     |  |   |  |  |  |  |
| 17  |  | 平衡 相 転移·······584   |  |  |  |  |
| 17. | 非 3  | т 偰 怕 転 侈··································               |  |  |  |  |
|     | Α.   | はじめに  |  |  |  |  |
|     | В.   | 平衡から遠く離れた系の熱力学的安定性規準                                      |  |  |  |  |
|     |  |   |  |  |  |  |

|   |    | 1.  | エントロピー生成 ・・・・・・・585                                 |
|---|----|-----|---|
|   |    | 2.  | 非線形化学反応 · · · · · · · · 587                         |
|   | C. | シ:  | ュレーグル・モデル ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・592        |
|   | D. | ブ   | ラッセル模型 ・・・・・・・・・・594                                |
|   |    | 1.  | 実数の ω(k) ······598                                  |
|   |    | 2.  | 複素数の ω(k) ······599                                 |
|   | E. | P   | トカ-ヴォルテラ・モデル・・・・・・・・・・・・・・・・・601                    |
|   | F. | べっ  | ナール不安定性 ···········603                              |
|   |    |     |   |
| 付 |    | 録…  | 615   |
|   |    |     |   |
|   | Α. |     | ) 合い方程式 · · · · · · · · · 615                       |
|   |    | 1.  | 一般的流体の流れ · · · · · · · 615                          |
|   |    | 2.  |   |
|   | В. |     | 本量子系に対する表示 · · · · · · 619                          |
|   |    | 1.  | 位置表示と運動量演算子619                                      |
|   |    | 2.  | N 体シュレーディンガー方程式: 一般形 · · · · · · · · · 621          |
|   |    | 3.  | 相互作用をしていない粒子 ······623                              |
|   |    | 4.  | ボゾンに対する数表示 ・・・・・・・・・・・・・・・626                       |
|   |    | 5.  | フェルミオンに対する数表示 · · · · · · · 629                     |
|   |    | 6.  | 場の演算子・・・・・・・・631                                    |
|   |    | 7.  | 式 (B. 74) の証明 ·······633                            |
|   |    | 8.  | 式 (B. 92) の証明 ············634                       |
|   | C. | 等ブ  | 5系: キュリーの原理 ······636                               |
|   |    | 1.  | テンソルの数学的性質 ······636                                |
|   |    | 2.  | 等方系に対する現象論的係数 ・・・・・・・・・・・・・・638                     |
|   | D. | 非級  | 泉形方程式の解と安定性 ······639                               |
|   |    | 1.  | 線形安定性理論 · · · · · · · · 639                         |
|   |    | 2.  | リミットサイクル ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・642                |
|   |    | 3.  | リアプノフ関数と広域的安定性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ |
|   |    |     |   |
| 索 |    | 引 . |   |
|   |    |     |   |