

# 目次

|          |                           |            |
|----------|---------------------------|------------|
| <b>7</b> | <b>ダイナミクス: 相関と応答</b>      | <b>367</b> |
| 7.1      | 動的相関と応答関数                 | 368        |
| 1.       | 相関関数                      | 368        |
| 2.       | 応答関数                      | 369        |
| 7.2      | 調和振動子                     | 373        |
| 1.       | 非減衰振動子                    | 373        |
| 2.       | 減衰振動子                     | 374        |
| 3.       | 応答関数                      | 376        |
| 4.       | 散逸                        | 380        |
| 7.3      | 弾性波とフォノン                  | 380        |
| 1.       | 弾性連続体中の音波                 | 380        |
| 2.       | 調和格子中の音響フォノン              | 382        |
| 7.4      | 拡散                        | 384        |
| 1.       | フィックの法則                   | 384        |
| 2.       | グリーン関数と動的応答               | 385        |
| 3.       | 応答関数                      | 386        |
| 4.       | 外場とアインシュタインの関係            | 388        |
| 5.       | ブラウン運動                    | 390        |
| 6.       | 協調拡散と自己拡散                 | 392        |
| 7.       | 格子上の拡散に対するマスター方程式         | 393        |
| 7.5      | ランジェバン理論                  | 396        |
| 1.       | ランダム力と熱平衡                 | 396        |
| 2.       | 拡散に対する相関関数                | 398        |
| 3.       | 短時間の挙動                    | 401        |
| 4.       | 調和振動子における揺動散逸定理           | 402        |
| 5.       | フォッカー-プランク方程式とスモルコフスキー方程式 | 403        |
| 7.6      | 応答関数の一般的性質                | 405        |
| 1.       | 外場に対する応答                  | 405        |
| 2.       | 応答関数の対称性                  | 407        |
| 3.       | 散逸                        | 409        |

|          |                                  |            |
|----------|----------------------------------|------------|
| 4.       | $\chi''_{\phi_i\phi_j}$ のスペクトル表示 | 411        |
| 5.       | 揺動散逸定理                           | 413        |
| 6.       | 総和則とモーメント展開                      | 414        |
| 7.7      | 非弾性散乱                            | 415        |
| 1.       | 散乱の幾何学と部分断面積                     | 415        |
| 2.       | フェルミの黄金則と中性子散乱                   | 415        |
| 3.       | フェルミの擬ポテンシャル                     | 417        |
| 4.       | 干渉性および非干渉性散乱                     | 419        |
| 5.       | 断面積と相関関数                         | 421        |
| 6.       | 結晶からの中性子散乱                       | 422        |
| 7.       | 磁気散乱                             | 423        |
| 8.       | 中性子散乱実験の実際                       | 424        |
| 9.       | 荷電粒子および光子の散乱                     | 425        |
|          | 参考図書・参考文献                        | 426        |
|          | 問題                               | 427        |
| <b>8</b> | <b>流体力学</b>                      | <b>434</b> |
| 8.1      | 保存的変数と対称性破れ変数                    | 434        |
| 8.2      | 教育的な例 — 格子上の剛体回転子                | 436        |
| 1.       | モデルの記述                           | 437        |
| 2.       | 無秩序相                             | 438        |
| 3.       | 秩序相                              | 443        |
| 4.       | 古典的な基底状態からの励起                    | 448        |
| 5.       | ゴールドストーンの定理                      | 450        |
| 6.       | 久保公式                             | 450        |
| 7.       | まとめ                              | 451        |
| 8.3      | スピン系                             | 452        |
| 1.       | スピンの動力学                          | 452        |
| 2.       | 一般化されたハイゼンベルクモデル                 | 453        |
| 3.       | 平面磁性体                            | 454        |
| 4.       | 等方的な反強磁性体                        | 456        |
| 5.       | 等方的な強磁性体                         | 457        |
| 8.4      | 単純流体の流体力学                        | 459        |
| 1.       | 保存則                              | 459        |
| 2.       | 物質移動を伴った熱力学                      | 461        |

|          |                                       |            |
|----------|---------------------------------------|------------|
| 3.       | エントロピー生成方程式 . . . . .                 | 463        |
| 4.       | 非散逸流体力学 . . . . .                     | 464        |
| 5.       | 散逸 . . . . .                          | 465        |
| 6.       | ナビエ-ストークス方程式 . . . . .                | 467        |
| 7.       | 流体力学モード . . . . .                     | 468        |
| 8.       | 光散乱 . . . . .                         | 471        |
| 9.       | 2成分流体 . . . . .                       | 472        |
| 8.5      | 液晶, 結晶固体および超流動ヘリウム . . . . .          | 473        |
| 1.       | ネマティック液晶 . . . . .                    | 473        |
| 2.       | スメクティック A 液晶 . . . . .                | 475        |
| 3.       | 結晶固体 . . . . .                        | 478        |
| 4.       | 超流動ヘリウム . . . . .                     | 480        |
| 8.6      | 確率モデルと動的臨界現象 . . . . .                | 483        |
| 1.       | 臨界緩和と従来の理論 . . . . .                  | 483        |
| 2.       | 散逸力学 . . . . .                        | 485        |
| 3.       | 動的スケーリング . . . . .                    | 488        |
| 4.       | ポアソン括弧項 . . . . .                     | 492        |
| 5.       | ポアソン括弧項を含むモデル . . . . .               | 494        |
| 6.       | モード結合 . . . . .                       | 497        |
| 8.7      | 核生成とスピノーダル分解 . . . . .                | 499        |
| 1.       | 非保存秩序パラメータをもった核生成 . . . . .           | 499        |
| 2.       | モデル A 動力学で記述される対称的で不安定なクエンチ . . . . . | 502        |
| 3.       | 保存的秩序パラメータとスピノーダル分解 . . . . .         | 503        |
|          | 参考図書・参考文献 . . . . .                   | 510        |
|          | 問題 . . . . .                          | 512        |
| <b>9</b> | <b>トポロジカルな欠陥</b> . . . . .            | <b>515</b> |
| 9.1      | トポロジカルな欠陥の特徴 . . . . .                | 516        |
| 1.       | 渦の対 . . . . .                         | 519        |
| 2.       | 2成分以上の秩序パラメータ . . . . .               | 520        |
| 3.       | 秩序パラメータ空間とホモトピー . . . . .             | 522        |
| 9.2      | トポロジカルな欠陥の例 . . . . .                 | 526        |
| 1.       | $xy$ モデルの渦 . . . . .                  | 526        |
| 2.       | スメクティック液晶の転位 . . . . .                | 528        |
| 3.       | 周期固体 . . . . .                        | 533        |

|       |                                     |     |
|-------|-------------------------------------|-----|
| 4.    | ボルテラの構成                             | 535 |
| 5.    | 六方対称格子と最密充填格子                       | 536 |
| 6.    | 結晶の転傾                               | 539 |
| 7.    | 結晶の強度                               | 539 |
| 8.    | 結晶成長                                | 541 |
| 9.    | 粒界                                  | 542 |
| 10.   | ネマティック液晶とヘキサティック液晶                  | 543 |
| 9.3   | 渦と転位のエネルギー                          | 547 |
| 1.    | $xy$ 渦エネルギーの簡単な計算                   | 547 |
| 2.    | 磁気との類似性                             | 550 |
| 3.    | 結晶の転位のエネルギー                         | 552 |
| 4.    | スメクティック液晶の転位                        | 557 |
| 9.4   | 渦の解離とコスタリッツ-サウレス転移                  | 564 |
| 1.    | 渦とスピン波剛性                            | 564 |
| 2.    | 2次元での渦の解離 — コスタリッツ-サウレス転移           | 566 |
| 3.    | 超流動ヘリウム薄膜                           | 573 |
| 9.5   | 転位がもたらす融解                           | 577 |
| 1.    | 基板の影響                               | 580 |
| 2.    | 実験と数値シミュレーション                       | 581 |
| 9.6   | ねじれた粒界相                             | 582 |
| 1.    | TGB 相の構造                            | 584 |
| 2.    | 熱力学的臨界場                             | 586 |
| 3.    | 下部臨界場                               | 587 |
| 4.    | 上部臨界場                               | 588 |
| 5.    | X線散乱                                | 591 |
| 6.    | 超伝導との類似性                            | 594 |
| 付録 9A | コスタリッツ-サウレス転移に関するノート                | 596 |
| 1.    | KT 再帰関係式の積分                         | 596 |
| 2.    | 縦および横応答                             | 598 |
| 3.    | スピン相関関数                             | 600 |
| 付録 9B | 双対性と Villain モデル                    | 602 |
| 1.    | ポッツモデル                              | 603 |
| 2.    | $xy$ モデル, Villain モデルおよび格子クーロン気体モデル | 606 |
|       | 参考図書・参考文献                           | 608 |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 問題                       | 610        |
| <b>10 分域壁, キンク, ソリトン</b> | <b>615</b> |
| 10.1 いくつかの簡単な例           | 616        |
| 10.2 平均場理論による分域壁         | 620        |
| 1. $\phi^4$ キンク          | 623        |
| 2. サイン-ゴールドンソリトン         | 624        |
| 3. ダイナミックス               | 625        |
| 10.3 フレンケル-コントロワ モデル     | 626        |
| 1. はじめに                  | 626        |
| 2. ディスコメンシュレーション         | 627        |
| 3. 悪魔の階段と FK 相図          | 629        |
| 4. 連続体近似                 | 631        |
| 5. 解の性質                  | 634        |
| 6. エネルギー最小の解             | 637        |
| 7. ディスコメンシュレーション間の反発相互作用 | 638        |
| 8. X 線散乱                 | 639        |
| 9. 圧縮弾性定数                | 640        |
| 10. フェイズン                | 641        |
| 11. ピン止めされたフェイズン         | 643        |
| 12. 2次元への拡張              | 644        |
| 10.4 揺動壁                 | 646        |
| 1. 微分幾何学と全表面積            | 646        |
| 2. 曲率                    | 649        |
| 3. 面のエネルギー               | 651        |
| 4. 調和近似でのゆらぎ             | 653        |
| 5. 流体膜の非線形性とくりこみ         | 655        |
| 6. 高分子化膜                 | 657        |
| 10.5 揺動壁の集合              | 661        |
| 1. 揺動壁と立体反発エントロピー        | 662        |
| 2. 壁の蜂の巣格子               | 664        |
| 3. 立体反発によって安定化された相の弾性    | 665        |
| 4. 転位と CI 転移             | 667        |
| 10.6 ラフニングとファセット         | 669        |
| 1. SOS モデルと離散ガウスモデル      | 670        |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| 2. ラフニング転移 . . . . . | 672        |
| 3. ファセット . . . . .   | 675        |
| 参考図書・参考文献 . . . . .  | 682        |
| 問題 . . . . .         | 684        |
| <b>用語集</b>           | <b>690</b> |
| <b>索引</b>            | <b>vii</b> |

## 上巻の内容

- 1 凝縮系の物理学
- 2 物質の構造と散乱
- 3 熱力学 および 統計力学
- 4 平均場理論
- 5 場の理論, 臨界現象, くりこみ群
- 6 弾性論の一般化