

目 次

1. 序 章	1
1.1 熱力学と統計力学の関係	1
1.1.1 巨視的状态と微視的状态	1
1.1.2 統計集団と確率分布	2
1.1.3 中心極限定理と熱力学極限	4
1.2 エントロピーと熱力学ポテンシャル	5
2. 熱力学の基礎事項の復習	7
2.1 平衡状態と熱力学第 0 法則	7
2.1.1 平衡状態と非平衡状態	7
2.1.2 熱力学第 0 法則	8
2.2 熱力学第 1 法則とエントロピーの導出	8
2.3 熱力学第 2 法則と熱力学ポテンシャル	10
2.3.1 熱力学第 2 法則	10
2.3.2 熱力学ポテンシャルの定義	11
2.3.3 熱力学ポテンシャルの特性と物理的意味	12
2.4 有用な熱力学の一般的関係式	12
2.4.1 マクスウェルの関係式	12
2.4.2 偏微分における変数変換	13
2.4.3 オイラーの方程式とギブス-デュエムの関係式	14
2.4.4 熱力学第 3 法則	15
2.5 状態方程式一系に固有の性質	16
3. 統計力学の基礎	18
3.1 位相空間とリウビルの定理	18

iv	目次	v
3.1.1	一般化座標と一般化運動量	18
3.1.2	位相空間と位相軌道	19
3.1.3	リウビルの定理	20
3.2	統計力学における非可逆過程	22
3.3	量子状態と量子統計・古典統計	26
3.3.1	量子状態	26
3.3.2	量子系の統計性	28
3.3.3	量子統計と古典統計	31
3.4	エントロピーの微視的な定義と統計集団	32
3.4.1	エントロピーの微視的定義	32
3.4.2	位相空間における代表点の分布とエントロピー	35
3.4.3	各種の熱力学的拘束条件と統計集団	37
3.4.4	ラグランジュの未定定数を用いた拘束条件の扱い方	39
3.5	ミクロカノニカル集団	42
3.5.1	確率分布	43
3.5.2	ミクロカノニカル集団の簡単な適用例 1 — 古典理想気体 —	44
3.5.3	ミクロカノニカル集団の簡単な適用例 2 — 2 準位系 —	49
3.6	カノニカル集団	52
3.6.1	確率分布	52
3.6.2	古典理想系のカノニカル集団	61
3.6.3	古典極限におけるカノニカル分布	62
3.6.4	カノニカル集団の簡単な適用例	63
3.6.5	ギブスのパラドックスと修正マクスウェル-ボルツマン統計	67
3.7	グランドカノニカル集団	70
3.7.1	確率分布	70
3.7.2	古典理想系のグランドカノニカル集団	77
3.7.3	グランドカノニカル集団の簡単な適用例	77
	古典統計力学の応用	79
4.1	結晶の格子比熱の古典統計 —デュロン-プティの法則—	79
4.1.1	格子振動のモデル	79
4.1.2	古典カノニカル統計による解析	81
4.2	エネルギー等分配則	82
4.3	結晶の格子比熱の量子効果を取り入れた扱い	85
5.	理想量子系の統計力学	91
5.1	量子統計の復習	91
5.1.1	統計力学に現れる量子性	91
5.1.2	理想量子系の統計集団の方法	93
5.2	理想量子系の統計集団の定式化	95
5.2.1	グランドカノニカル集団の復習	95
5.2.2	理想量子系のグランドカノニカル集団	96
5.2.3	ボーズ-アインシュタイン統計とボーズ-アインシュタイン分布	97
5.2.4	フェルミ-ディラック統計とフェルミ-ディラック分布	100
5.2.5	基底状態と熱力学第 3 法則	101
5.3	理想ボーズ-アインシュタイン気体の例—光子気体とフォノン気体—	102
5.3.1	光子気体と黒体輻射	103
5.3.2	フォノン気体	108
5.4	縮退のある量子系の扱い (BE・FD 統計共通)	111
5.5	理想フェルミ-ディラック気体の例—電子気体—	114
5.5.1	伝導電子と理想フェルミ-ディラック気体	114
5.5.2	電子のフェルミ-ディラック分布と状態密度	114
5.5.3	電子気体の全粒子数と化学ポテンシャル	116
5.5.4	電子気体の内部エネルギーと比熱	121
5.6	理想ボーズ-アインシュタイン凝縮	121
5.6.1	量子統計の古典極限 (BE・FD 統計共通)	122
5.6.2	理想ボーズ-アインシュタイン凝縮の理論	126
6.	相互作用のある多体系の協力現象	135
6.1	相転移の熱力学の復習	135
6.1.1	用語の定義	135

6.1.2	相平衡の条件	136
6.1.3	自由エネルギーと相転移の分類	138
6.2	相転移の統計力学の例 1—秩序・無秩序転移とイジング・モデル—	140
6.2.1	秩序・無秩序転移の定義	141
6.2.2	磁性体の常磁性・強磁性転移	141
6.2.3	秩序・無秩序転移の直感的説明	142
6.2.4	イジング・モデル —秩序・無秩序転移の統計力学モデル—	143
6.2.5	イジング・モデルの熱的性質	144
6.2.6	平均場理論	144
6.2.7	$h = 0$ のイジング・モデルの秩序・無秩序転移の次数	148
6.3	相転移の統計力学の例 2—非理想気体のビリアル展開と気相-液相 転移—	150
6.3.1	非理想気体の相転移	150
6.3.2	非理想気体のハミルトニアンと状態和	150
6.3.3	短距離相互作用とメイヤーの f 関数	151
6.3.4	状態和の摂動展開	153
6.3.5	非理想気体の自由エネルギーと状態方程式	154
6.3.6	第 2 ビリアル係数の物理的意味	155
6.3.7	ファン・デル・ワールス状態方程式	157
7.	ゆらぎの統計力学	159
7.1	平衡状態の安定性とゆらぎ	159
7.2	エントロピーの安定性解析	161
7.3	ゆらぎの正規分布と感受率	163
7.4	臨界現象と感受率	164
参考文献		166
索引		167