

# 目 次

## 1 序 論

1.1	自然界におけるプラズマ	1
1.2	プラズマの定義	2
1.3	温度の概念	4
1.4	Debye しゃへい	7
1.5	プラズマパラメータ	10
1.6	プラズマであるための条件	10
1.7	プラズマ物理の応用	11
1.7.1	気体放電 (気体電子工学)	11
1.7.2	熱核融合制御	11
1.7.3	宇宙物理	12
1.7.4	現代天体物理学	12
1.7.5	MHD エネルギー変換とイオン推進	12
1.7.6	固体プラズマ	13
1.7.7	気体レーザー	14
問	題	14

## 2 粒子の運動

2.1	序 論	17
2.2	一様な電場と磁場	17
2.2.1	$E=0$	17
2.2.2	有限な電場	19
2.2.3	重力場	21

2.3 非一様磁場	22
2.3.1 $\nabla B \perp B$ : grad $B$ ドリフト	22
2.3.2 湾曲磁場: 湾曲ドリフト	23
2.3.3 $\nabla B \parallel B$ : 磁気ミラー	25
2.4 非一様電場	28
2.5 時間的に変化する電場	31
2.6 時間的に変化する磁場	33
2.7 旋回中心のドリフトのまとめ	34
2.8 断熱不変量	35
2.8.1 第1断熱不変量, $\mu$	35
2.8.2 第2断熱不変量, $J$	37
2.8.3 第3断熱不変量, $\phi$	40
問 題	40

### 3 流体としてのプラズマ

3.1 序 論	43
3.2 プラズマ物理学と電磁気学との関係	44
3.2.1 Maxwell の方程式	44
3.2.2 磁性体の古典的取扱い	45
3.2.3 誘電体の古典的取扱い	46
3.2.4 プラズマの誘電定数	46
3.3 流体の運動方程式	47
3.3.1 対流微分	48
3.3.2 応力テンソル	50
3.3.3 衝突	53
3.3.4 流体力学との比較	53
3.3.5 連続の方程式	54
3.3.6 状態方程式	54
3.3.7 流体方程式の完全なセット	55
3.4 $B$ に垂直な流体ドリフト	56

3.5 $B$ に平行な流体ドリフト	59
3.6 プラズマ近似	61
問 題	61

### 4 プラズマ中の波動

4.1 波動の表わし方	63
4.2 群 速 度	64
4.3 プラズマ振動	65
4.4 電子プラズマ波	69
4.5 音 波	75
4.6 イオン波	76
4.7 プラズマ近似の妥当性	78
4.8 イオン波と電子波の比較	78
4.9 $B$ に垂直な電子の静電振動	81
4.10 $B$ に垂直な静電イオン波	86
4.11 低域混成周波数	89
4.12 $B_0=0$ のときの電磁波	90
4.13 実験への応用	92
4.14 $B_0$ に垂直な電磁波	96
4.14.1 正常波, $E_1 \parallel B_0$	96
4.14.2 異常波, $E_1 \perp B_0$	96
4.15 カットオフと共鳴	99
4.16 $B_0$ に平行な電磁波	101
4.17 実験結果	104
4.17.1 ホイスラーモード	104
4.17.2 Faraday 回転	105
4.18 磁気流体波	106
4.19 磁気音波	111
4.20 基本的なプラズマ波のまとめ	113

4.21 CMA 図	114
問 題	115

## 5 拡散と抵抗

5.1 弱電離気体中の拡散と移動度	121
5.1.1 衝突パラメータ	122
5.1.2 拡散パラメータ	123
5.2 拡散によるプラズマの減少	124
5.2.1 両極性拡散	124
5.2.2 平板プラズマ中での拡散	125
5.2.3 円柱プラズマ中での拡散	128
5.3 定 常 解	129
5.3.1 定常電離関数	129
5.3.2 平面粒子源	130
5.3.3 軸上粒子源	130
5.4 再 結 合	131
5.5 磁場を横切つての拡散	132
5.5.1 磁場 $B$ を横切つての両極性拡散	135
5.5.2 実験による照合	136
5.6 完全電離気体中の衝突	138
5.6.1 プラズマ抵抗	139
5.6.2 Coulomb 衝突の力学	140
5.6.3 $\eta$ の物理的意味	142
5.6.4 $\eta$ の 数 値	143
5.7 単一流体 MHD 方程式	144
5.8 完全電離プラズマ中の拡散	147
5.9 拡散方程式の解	148
5.9.1 時間依存性	148
5.9.2 時間に依存しない解	149
5.10 Bohm 拡散と新古典拡散	150

問 題	154
-----	-----

## 6 平衡と安定性

6.1 序 論	157
6.2 磁気流体的平衡	158
6.3 $\beta$ の 概 念	160
6.4 プラズマ中への磁場の拡散	162
6.5 不安定性の分類	163
6.6 2 流体不安定性	165
6.7 “重力” 不安定性	168
6.8 抵抗性ドリフト波	172
問 題	175

## 7 運動論入門

7.1 $f(v)$ の 意 味	177
7.2 運動論の方程式	182
7.3 流体方程式の導出	187
7.4 プラズマ振動と Landau 減衰	189
7.5 Landau 減衰の意味	193
7.5.1 電子ビームの運動エネルギー	196
7.5.2 初期条件の効果	200
7.6 Landau 減衰の物理的導出	202
7.6.1 共鳴粒子	205
7.6.2 解明された2つのパラドックス	206
7.7 BGK と Van Kampen モード	207
7.8 実験的検証	208
7.9 イオン Landau 減衰	210
問 題	211

## 8 非線形効果

8.1 序 論	213
8.2 シ ー ス	215
8.2.1 シースの必要性	215
8.2.2 平面シースの方程式	216
8.2.3 Bohm のシース基準	217
8.2.4 Child-Langmuir の法則	219
8.3 衝撃イオン音波	220
8.3.1 Sagdeev のポテンシャル	220
8.3.2 臨界 Mach 数	223
8.3.3 波の急峻化	224
8.3.4 実験上の観測	225
8.4 ポンドラモーティブ力	227
8.5 パラメトリック不安定性	229
8.5.1 結合振動子	229
8.5.2 周波数のマッチング	230
8.5.3 不安定性のしきい値	233
8.5.4 物理的機構	234
8.5.5 振動型2流体不安定性	236
8.5.6 パラメトリック崩壊不安定性	238
8.6 プラズマエコー	240
8.7 非線形 Landau 減衰	244

## 9 核融合制御入門

9.1 核融合制御という課題	247
9.1.1 核融合反応	247
9.1.2 プラズマの必要性	248
9.1.3 点火温度	248
9.1.4 Lawson 条件	249

9.1.5 主な問題点	249
9.1.6 主なアプローチ	250
9.2 磁場閉じ込め: トーラス	251
9.2.1 平 衡	251
9.2.2 トーラス系の型	251
9.2.3 安 定 性	253
9.2.4 ステラレータ	255
9.2.5 トカマク	256
9.2.6 マルチポール	260
9.2.7 相対論的ビーム装置	262
9.3 ミ ラ ー	264
9.4 ピ ン チ	269
9.5 レーザー核融合	273
9.6 プラズマ加熱	276
9.7 核融合技術	279
9.8 ま と め	281

## 付 録

I. 単 位	283
II. 定数および公式	285
III. ベクトル公式	287
IV. 円柱座標	287
訳者あとがき	289
索 引	291