

目 次

ま え が き

記 号 表

1. プラズマ工学基礎

1.1	ベクトルとテンソル	1
1.1.1	ベクトルの概念	1
1.1.2	ベクトルの積	3
1.1.3	ベクトルの多重積	5
1.1.4	テンソルの概念および法則	6
1.1.5	テンソルの積	7
1.1.6	ダイアディックの法則	8
1.2	ベクトルとテンソルの微分	9
1.2.1	ベクトルの時間微分	9
1.2.2	ベクトルの位置微分	11
1.2.3	ベクトルの発散とガウスの定理	12
1.2.4	ベクトルの回転とストークスの定理	13
1.2.5	積分定理より誘導される諸公式	14
1.2.6	演算子 ∇ の連続的作用と複合ベクトルに対する作用	15
1.2.7	微分演算子 ∇ を含むダイアディック	16
1.3	直交曲線座標におけるベクトル	17
1.3.1	曲線座標	17
1.3.2	直交曲線座標	18
1.3.3	線素片・面素片および体積素片	19
1.3.4	直交座標系におけるベクトル	19
1.3.5	円柱座標	22
1.3.6	球座標	23
1.3.7	円環面座標	24
1.4	積分に関連した事項および積分公式	26
1.4.1	多重積分における変数変換	26

1.4.2	ヤコビアン	28
1.4.3	平均値を求める積分	28
1.4.4	ベクトル・テンソルを含む積分	30
1.4.5	テンソルに関する積分公式	31
1.5	積分変換に関する諸定理	33
1.5.1	ラプラス変換の基礎	33
1.5.2	ラプラス変換の諸定理	34
1.5.3	合成関数の数種の例	35
1.5.4	ラプラス変換表	38
1.5.5	フーリエ変換	38
2. 電磁界中での荷電粒子の運動		
2.1	電磁界中での単一荷電粒子の運動方程式	40
2.2	粒子の旋回中心の移動	44
2.2.1	B に垂直な電界 (E_{\perp}) による移動	45
2.2.2	重力場 (g_{\perp}) による移動	46
2.2.3	磁界の非斉一性 ($\nabla_{\perp} B$) による移動	47
2.3	軸対称磁界による荷電粒子の閉込め	51
2.3.1	$\nabla_{\perp} B$ による歳差運動	51
2.3.2	角運動量の不変性	52
2.4	磁気モーメント	57
2.4.1	定義	57
2.4.2	μ の不変性 $d\mu/dt=0$	58
2.5	磁気鏡での粒子のふるまい	61
2.5.1	定義	61
2.5.2	反射係数	64
2.5.3	並行断熱不変量	65
2.6	粒子の加速	66
2.6.1	電界によるプラズマ粒子の加熱	66
2.6.2	磁気圧縮によるプラズマ粒子の加熱	66
2.6.3	B の増大による直接的加熱	69
	練習問題	70

3. プラズマの巨視的性質

3.1	電気的中性とデバイ距離	72
3.1.1	デバイのしゃへい距離	72
3.1.2	イオンさや (Ion Sheath)	75
3.2	探極法によるプラズマの測定	76
3.2.1	探極表面にできるイオンさや	76
3.2.2	Langmuir, Mott-Smith の探極法	77
3.3	ボルツマン方程式よりの運動方程式	80
3.4	プラズマに関する巨視的量の基礎方程式	86
3.4.1	電子とイオンとの輸送方程式	86
3.4.2	圧力テンソルの発散	86
3.4.3	電流密度 j , 風速 v など	89
3.4.4	連続の式およびマクスウェル方程式	91
3.5	巨視的速度と微視的速度との比較	93
3.5.1	巨視的速度と電流密度	93
3.5.2	巨視的速度と微視的速度との比較対照	93
3.6	プラズマ中の電流密度 j	101
3.6.1	ステップ状電界印加時のプラズマ中の電流過渡現象	102
3.6.2	磁界のないときの電流密度	103
3.6.3	弱磁界のときの電流密度	104
3.6.4	強磁界のときの電流密度	108
3.6.5	磁化プラズマの分極現象	111
3.7	磁気圧力と粒子圧力	114
3.7.1	磁気圧力の求め方	114
3.7.2	磁気圧力と粒子圧力と並存のとき	115
3.8	磁力線を横切つての物質の運動とプラズマの拡散	116
3.8.1	運動体の表面を貫通する磁束の変化	117
3.8.2	強磁界を横切つてのプラズマ拡散	120
	練習問題	127

4. プラズマの中の波動

4.1	波動の基礎的事項	128
-----	----------	-----

4.1.1 基礎方程式	128
4.1.2 波動の種類	129
4.1.3 分散式と位相速度	130
4.1.4 波の伝搬	131
4.2 $B=0$ のときの電磁波	132
4.2.1 波動方程式	133
4.2.2 波の性質	135
4.2.3 比抵抗 η が有限値の場合	136
4.3 $B=0$ のときの静電波	140
4.3.1 電子波	140
4.3.2 イオン波	144
4.4 磁気流体波	150
4.4.1 アルペン波 (横の磁気流体波)	150
4.4.2 磁気音波 (縦の磁気流体波)	155
4.4.3 B に対し斜めに進む波動	157
4.5 冷プラズマ中の波動	162
4.5.1 B に垂直な κ を有する波動	162
4.5.2 B に θ の傾斜の κ を有する波動	172
練習問題	181

5. プラズマ波動の減衰と成長

5.1 プラズマ振動	183
5.2 ランダウ減衰	184
5.2.1 単一粒子の運動的考察よりのランダウ減衰の計算	186
5.2.2 ランダウの計算	191
5.3 サイクロトロン減衰	199
5.4 波動の成長	204
5.4.1 逆ランダウ減衰	204
5.4.2 2流束不安定性	205
練習問題	216

6. プラズマの平衡と安定

6.1 平衡と安定の原理	217
6.1.1 平衡条件	217
6.1.2 安定条件	219
6.2 プラズマの安定性の数学的解析	221
6.3 平面系プラズマの平衡と安定	229
6.3.1 平衡条件	229
6.3.2 等方的圧力の際の安定性	235
6.3.3 非等方圧力の際の安定性	240
6.4 円柱系プラズマの平衡と安定	245
6.4.1 平衡条件	245
6.4.2 円柱系プラズマの安定性 (1)	251
6.4.3 円柱系プラズマの安定性 (2)	255
6.4.4 ミラー磁界での交換不安定性	260
6.5 軸対称系プラズマの平衡	264
6.5.1 円形磁界の場合の平衡	264
6.5.2 円形電流の場合の平衡	265
練習問題	269

7. 荷電粒子間の出合いに関する事項

7.1 出合いの力学	270
7.1.1 粒子間の相互作用の法則	270
7.1.2 点中心の斥力の働く分子間の出合いの力学	271
7.1.3 逆自乗法則の出合い	274
7.1.4 ローレンツ電離ガスでの偏向角 90° の出合い	275
7.2 速度空間での拡散係数	277
7.2.1 ローレンツ電離ガスでの速度移行	277
7.2.2 拡散係数 $\langle \Delta w_{\parallel} \rangle$, $\langle (\Delta w_{\parallel})^2 \rangle$, $\langle (\Delta w_{\perp})^2 \rangle$ の計算	279
7.3 緩和時間	283
7.3.1 t_D : 偏向時間	284
7.3.2 t_E : エネルギー交換時間	284

7・3・3	t_c : 自己衝突時間	286
7・3・4	t_s : 減速時間	288
7・3・5	t_{eq} : エネルギー等配時間	290
7・4	プラズマの比抵抗	292
7・4・1	弱電離プラズマの比抵抗	292
7・4・2	ローレンツガスの比抵抗 η_L	293
7・4・3	電子のランナウェイ	295
	練習問題	298
	付 録	319
	索 引	323