

Table des matières

Préface de la collection	v
Préface	vii
Introduction	xvii

CHAPITRE I THEORIE DES CHOCS PARTICULAIRES 1

1 Interactions binaires 1

- 1-1 Généralités 1
- 1-2 Principaux types de potentiel 2
- 1-3 Relations de conservation 6
- 1-4 Description des trajectoires. Exemple du potentiel répulsif Coulombien 7
- 1-5 Jacobien de collision élastique 14

2 Sections efficaces 15

- 2-1 Définition de la section efficace binaire 15
- 2-2 Cas général des collisions binaires (réactions ou diffusions) 16
- 2-3 Calcul théorique de la section efficace de diffusion. Exemples 20
- 2-4 Application au libre parcours et à la durée de vie 22
- 2-5 Utilisation de la section efficace 23
- 2-6 Relations de réversibilité dans les réactions 24

CHAPITRE II ETUDE DE L'ETAT D'UN SYSTEME ET DE SES GRAN- DEURS 27

3 Fonctions de distribution spécifiques et génériques 27

- 3-1 Définition de la fonction de distribution spécifique $P^{(N)}$ 27
- 3-2 Autres normations de la fonction de distribution 28
- 3-3 Evolution de la fonction spécifique $P^{(N)}$ 31
 - Equation de Liouville 31
- 3-4 Réduction de l'équation de Liouville ou méthode BBGKY 33

4 Fonction de distribution fine 38

- 4-1 Définition pour des particules de même nature 38
- 4-2 Valeurs moyennes 38
- 4-3 Equation d'évolution 39

5	Fonctions de Green ou propagateurs	41
5-1	Définition	41
5-2	Fonctions de Green de l'opérateur de Liouville et fonction de distribution à plusieurs temps	42
5-3	Application à un système contenant des sources extérieures	43
6	Grandeurs mécaniques	44
6-1	Définition	44
6-2	Calcul	45
6-3	Grandeurs mécaniques fines	46
6-4	Evolution	47
7	Fluctuations	48
7-1	Définition de la fluctuation de deux grandeurs X et Y . Exemple de la fluctuation du nombre de particules	48
7-2	Fluctuation du nombre de particules injectées dans un système	49
8	Irréversibilité	50
8-1	Irréversibilité	50
8-2	Fonction de distribution grossière	51
8-3	Théorème H	52
8-4	Master equation	53
CHAPITRE III ETUDE DE L'EQUILIBRE THERMODYNAMIQUE . . . 55		
9	Ensembles stationnaires de systèmes fermés	55
9-1	Solution générale de l'équation de Liouville	55
9-2	Ensemble stationnaire	56
10	Ensemble microcanonique	56
10-1	Définition	56
10-2	Théorème ergodique	57
10-3	Ensemble microcanonique formé de systèmes d'objets faiblement couplés	57
11	Ensemble canonique de Gibbs	59
11-1	Définition	59
11-2	Thermodynamique de l'ensemble canonique	62
11-3	Principe de partition et méthode des cumulants. Application au calcul de Z_N	66
11-4	Calcul des fonctions de distributions réduites	69
11-5	Equation d'état par la méthode du viriel	73
12	Systèmes ouverts. Ensemble grand-canonique	78
12-1	Moyenne locale d'une grandeur	78
12-2	Définition de l'ensemble grand-canonique	80
12-3	Thermodynamique associée	82

CHAPITRE IV EQUATION DE BOLTZMANN ET APPLICATIONS 85

- 13 Hypothèses à la base de l'équation de Boltzmann 85**
 13-1 Généralités 85
 13-2 Exemple de deux distributions de Dirac isotropes 87
 13-3 Exemple de deux distributions de Maxwell 88
- 14 Forme générale de l'équation de Boltzmann 89**
 14-1 Expression du transfert sans collisions 89
 14-2 Opérateur de collisions élastiques 90
 14-3 Opérateur de réaction en équilibre 94
- 15 Solution d'équilibre de l'équation de Boltzmann dans le cas des diffusions élastiques (Théorème *H*) 95**
- 16 Equation linéaire du gaz de Lorentz 98**
 16-1 Position du problème 98
 16-2 Solution générale pour un système limité dans l'espace 98
 16-3 Application à la neutronique 101
- 17 Forme limite aux faibles angles. Equation de Landau 104**
- 18 Formes limites lorsque l'échange d'énergie par choc est faible 106**
 18-1 Condition de réalisation 106
 18-2 Evolution de la distribution en énergie 107
 18-3 Cas particulier des déviations angulaires faibles. Longueur de diffusion 110
- 19 Résolution de l'équation de Boltzmann 113**
 19-1 $\lambda \simeq L$ -Cas général 113
 19-2 $\lambda \gg L$ -Pas de chocs 115
 19-3 $\lambda < L, \tau < T$ -Régime de diffusion 115
 19-4 $\lambda \ll L$ et $\tau \ll T$ -Régime de l'approximation hydrodynamique 115
 19-5 Approximation BGK 116

CHAPITRE V EQUATIONS CINETIQUES 119

- 20 Evolution d'un système 119**
 20-1 Phénomènes physiques intervenant 119
 20-2 Calcul des fonctions de distributions au cours du temps 120
 20-3 Principaux régimes cinétiques 123
- 21 Phase précinétique des fluides non denses 125**
 21-1 Définition et échelle de temps 125
 21-2 Formes et propriétés de l'équation de Vlasov 126
 21-3 Utilisation 129
- 22 Régime de Boltzmann ou régime à courte portée 130**
 22-1 Définition 130
 22-2 Equation d'évolution: Synchronisation 131
 22-3 Cas d'un fluide homogène 132
 22-4 Cas d'un fluide hétérogène 134

23 Régime de Landau ou régime faiblement couplé	136
23-1 Définition	136
23-2 Equation d'évolution de Landau	136
23-3 Forme de Fokker-Planck	141
24 Régime DBLGB	141
24-1 Définition	141
24-2 Equation d'évolution DBLGB	142
24-3 Caractère irréversible de l'opérateur DBLGB. Théorème <i>H</i>	147
25 Méthode d'extension de Sandri	148
25-1 Principe de la méthode de Sandri	148
25-2 Exemple de régime de Boltzmann en milieu homogène	149
25-3 Régime cinétique généralisé des fluides non denses en milieu homogène	154
25-4 Master equation	157
CHAPITRE VI ETUDE DE L'HYDRODYNAMIQUE	163
26 Régime hydrodynamique	163
26-1 Définition	163
26-2 Résolution	164
27 Equations générales de l'hydrodynamique	165
27-1 Définition	165
27-2 Equation de continuité	166
27-3 Equation des forces	167
27-4 Equation de l'énergie	171
27-5 Utilisation	173
28 Régime hydrodynamique associé à une équation cinétique	174
28-1 Définitions	174
28-2 Transport des moments	176
28-3 Equation de continuité	177
28-4 Equation des forces	177
28-5 Equation de l'énergie	178
28-6 Cas d'une réaction en équilibre	179
29 Méthode de Chapman — Enskog	181
29-1 Généralités. Divers ordres du développement Equations d'Euler, de Navier-Stokes et de Burnett	181
29-2 Coefficients de transport d'un fluide pur	183
29-3 Coefficients de transport d'un mélange avec degrés internes de liberté	186
30 Méthode de Grad	191
CHAPITRE VII THEORIE DES PLASMAS CLASSIQUES	195
31 Equilibre d'un plasma	195
31-1 Définition et existence du plasma	195
31-2 Equilibre d'un plasma complètement ionisé en milieu homogène. Equation d'état	196
31-3 Diagramme (T, N) et principaux domaines	201

32 Régime précinétique des plasmas	202
32-1 Position du problème	202
32-2 Etude de l'évolution rapide d'un plasma d'électrons	203
32-3 Comportement individuel et collectif	206
32-4 Ondes de plasma	209
33 Régime cinétique des plasmas	211
33-1 Existence du régime cinétique	211
33-2 Opérateur DBLGB. Collisions lointaines avec effets collectifs	212
33-3 Opérateur de Boltzmann. Collisions proches	214
33-4 Opérateur de Landau. Zone intermédiaire	215
33-5 Théorie unifiée	216
33-6 Ordres de grandeur caractéristiques du régime cinétique	219
Coefficient de friction dynamique, temps de self-relaxation, longueur de diffusion, temps de relaxation électron-ion	220
34 Régime hydrodynamique	223
34-1 Conditions du régime hydrodynamique	223
34-2 Méthode de Chapman-Enskog	223
Utilisation des opérateurs de Landau, DBLGB, unifiés. Gaz partiellement ionisé	224
34-3 Méthode de Grad	229
ANNEXE I RAPPELS	231
1°) Rappel des notations vectorielles et tensorielles	231
2°) Rappel de statistique	232
3°) Transformée de Laplace	233
4°) Transformée de Fourier	235
5°) Fonctions delta	235
6°) Intégrales usuelles	236
7°) Fonction erreur	237
8°) Propriétés de la fonction de Green	237
9°) Rappels de thermodynamique	239
ANNEXE II EQUATION DE LANDAU	241
1°) Equation de Landau comme forme limite de l'équation de Boltzmann	241
2°) Forme de Bogoliubov de l'équation de Landau	247
3°) Equivalence entre les formes de Landau et Bogoliubov dans le cas des collisions binaires	249
4°) Longueur de diffusion	251
ANNEXE III EQUIVALENCE DES DIVERSES FORMES DE L'EQUATION DE BOLTZMANN	255
1°) Opérateur S de Bogoliubov	255
2°) Forme de Bogoliubov de l'opérateur de Boltzmann	256
3°) Forme de Sandri de l'opérateur de Boltzmann	256

ANNEXE IV DIVERSES FORMES DE L'EQUATION DBLGB . . .	259
1°) Résolution de l'équation en Ψ	259
Forme habituelle de l'équation DBLGB	
2°) Expression du tenseur $\overline{\overline{Q}}$ dans le cas coulombien	262
ANNEXE V. EQUATIONS DE L'HYDRODYNAMIQUE . . .	267
1°) Equation de l'énergie à partir de la fonction de distribution fine	267
2°) Problème de Chapman Enskog pour une seule espèce	272
ANNEXE VI. CONSTANTE DIELECTRIQUE DU PLASMA MAXWELLIEN	279
ANNEXE VII. VALEUR DES PRINCIPALES CONSTANTES . . .	281
BIBLIOGRAPHIE	283
INDEX	289
ERRATA	295