

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Introduction</b> . . . . .	3
<b>Partie 1. Théorie</b> . . . . .	9
<b>Chapitre 1. Théorie cinétique</b> . . . . .	11
1.1. De l'impossibilité d'une approche exacte . . . . .	12
1.2. Équation de Boltzmann . . . . .	17
1.3. Le terme collisionnel . . . . .	19
1.3.1. Absence de collisions : équation de Vlasov . . . . .	20
1.3.2. Modèle de relaxation de Bhatnagar-Gross-Krook . . . . .	21
1.3.3. Intégrale de collision de Boltzmann . . . . .	22
1.3.4. Terme collisionnel de Fokker-Planck . . . . .	25
1.4. État d'équilibre : distribution de Boltzmann . . . . .	27
1.5. Distribution de Maxwell-Boltzmann : propriétés . . . . .	34
1.6. Le théorème H . . . . .	42
1.7. Paradoxes liés au théorème H . . . . .	45
1.7.1. Le paradoxe de l'irréversibilité de Loschmidt . . . . .	45
1.7.2. Le paradoxe de Zermelo . . . . .	46
<b>Chapitre 2. Approche hydrodynamique</b> . . . . .	47
2.1. Modèle fluide : une approche heuristique . . . . .	48

2.2. Équation de transport macroscopique . . . . .	49
2.3. Modèle fluide . . . . .	51
2.4. Le tenseur de pression . . . . .	55
2.4.1. Pression isotrope . . . . .	56
2.4.2. Pression anisotrope . . . . .	56
2.5. Une impasse dans le modèle fluide : relations de fermeture . . . . .	57
2.5.1. Pression nulle . . . . .	57
2.5.2. Pression isotherme . . . . .	58
2.6. L'effet des collisions . . . . .	59
<b>Chapitre 3. Modèles quantiques . . . . .</b>	<b>63</b>
3.1. Intérêt physique . . . . .	64
3.2. Modèle hydrodynamique quantique . . . . .	66
3.3. Approche cinétique quantique : théorie de Wigner-Moyal . . . . .	70
3.3.1. Distribution de Wigner . . . . .	71
3.3.2. Transformation de Weyl . . . . .	74
3.3.3. Évolution de la distribution de Wigner . . . . .	76
<b>Chapitre 4. Généralisation relativiste . . . . .</b>	<b>81</b>
4.1. Hydrodynamique relativiste . . . . .	82
4.1.1. Équations de conservation . . . . .	82
4.1.2. Hydrodynamique dans la relativité restreinte . . . . .	83
4.1.3. Modèle hydrodynamique en relativité générale . . . . .	85
4.2. Théorie cinétique relativiste . . . . .	86
4.2.1. Concepts de base . . . . .	86
4.2.2. Formulation de la théorie cinétique . . . . .	90
4.2.3. Intégrale de collision . . . . .	92
4.2.4. Équation de Boltzmann dans la relativité générale . . . . .	93
4.2.5. Le théorème H . . . . .	95
4.2.6. État d'équilibre : distribution de Jüttner . . . . .	97
<b>Partie 2. Applications . . . . .</b>	<b>103</b>
<b>Chapitre 5. Plasmas . . . . .</b>	<b>105</b>
5.1. Oscillations électroniques dans les plasmas classiques : approche hydrodynamique . . . . .	107
5.2. Ondes ioniques : approche hydrodynamique . . . . .	111

---

5.3. Plasmas classiques : approche cinétique . . . . .	113
5.4. Quantification des oscillations électroniques : approches hydrodynamique et cinétique . . . . .	119
5.5. Oscillations dans un plasma relativiste : approche cinétique . . . . .	121
5.6. Au-delà de l'approche linéaire : équation Korteweg-de Vries . . . . .	126
<b>Chapitre 6. Systèmes gravitationnels . . . . .</b>	<b>133</b>
6.1. Instabilité de Jeans : approche hydrodynamique . . . . .	134
6.2. Approche cinétique et effet des collisions . . . . .	138
6.3. Instabilité de Jeans en présence de matière noire . . . . .	142
6.3.1. Approche cinétique . . . . .	142
6.3.2. Approche hydrodynamique . . . . .	147
6.4. Instabilité de Jeans : théories alternatives . . . . .	149
<b>Chapitre 7. Condensats de Bose-Einstein . . . . .</b>	<b>153</b>
7.1. Représentation hydrodynamique quantique . . . . .	155
7.2. Représentation cinétique quantique . . . . .	157
7.3. Approche cinétique des oscillations de Bogoliubov . . . . .	159
<b>Chapitre 8. Cosmologie et modèles de matière noire . . . . .</b>	<b>163</b>
8.1. Hydrodynamique de l'Univers . . . . .	163
8.1.1. Perturbation dans un univers statique . . . . .	168
8.1.2. Perturbations dans un univers en expansion . . . . .	169
8.2. Modèles de matière noire . . . . .	172
8.2.1. Représentation hydrodynamique . . . . .	173
8.2.2. Représentation cinétique . . . . .	175
<b>Annexe. Langage de la relativité . . . . .</b>	<b>179</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>185</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>189</b>