

Guy Bonnaud

Physique de l'interaction laser-plasma

Modèles physiques et numériques



Préface de
Daniel Verwaerde



Table des matières

I. Grandeurs et dimensions	13
I.1. Unités.....	14
I.2. Constantes fondamentales	17
I.3. Grandeurs, grandeurs de référence et valeurs typiques.....	19
I.4. Conversion d'unités	26
I.5. Adimensionnement.....	28
II. Source d'énergie : le laser	31
II.1. Populations des états d'un atome	31
II.2. Emission stimulée et absorption.....	35
II.3. Cavité optique	35
II.4. Evolutions temporelles couplées	36
II.5. Grandeurs électromagnétiques : gain et puissance sortante	37
II.6. Blocage (ou couplage) de modes.....	39
II.7. Dérive de fréquence	40
II.8. Sources laser de puissance	41
II.9. Scenarii d'émission laser	44
II.10. Grandes installations laser de puissance.....	57
III. Focalisation et propagation dans le vide	63
III.1. Optique ondulatoire et diffraction	64
III.2. Equation paraxiale dans le vide	67
III.3. Focalisation et tache focale	71
III.4. Focalisation spécifique à la FCI.....	76
III.5. Conclusion	92
IV. Ionisation	95
IV.1. L'atome isolé.....	95
IV.2. L'ionisation	103
IV.3. L'atome/ion dans un plasma.....	121
IV.4. Modèle numérique	122
V. Les plasmas	123
V.1. Matière : distance inter-particule	124
V.2. Interaction binaire	124
V.3. Interaction collective.....	125
V.4. Caractère quantique : distance de de Broglie	128
V.5. Distances d'interaction avec le rayonnement	128
V.6. Classification des plasmas.....	129

VI. Trajectoires	135
VI.1. Champs uniformes et statiques	136
VI.2. Champs non uniformes et variables	146
VI.3. Mouvement dans une onde plane	163
VI.4. Force pondéromotrice	168
VII. Collisions élastiques	169
VII.1. Lois générales	170
VII.2. Collision de deux charges dans le vide	180
VII.3. Modèle de collision binaire entre deux particules	192
VII.4. Equation de Fokker-Planck	192
VII.5. Modélisation stochastique des collisions	195
VIII. Rayonnement	197
VIII.1. Unités et dimensions des grandeurs caractéristiques	198
VIII.2. Intensité rayonnée et intensité spectrale	198
VIII.3. Rayonnement d'une charge mobile	201
VIII.4. Spectre de Fourier en pulsation	203
VIII.5. Rayonnement par accélération axiale	204
VIII.6. Rayonnement synchrotron dans un champ magnétique uniforme	206
VIII.7. Rayonnement dans un champ magnétique sinusoïdal	223
VIII.8. Diffusion Thomson	229
VIII.9. Rayonnement lors des collisions	232
VIII.10. Rayonnement d'un plasma	238
IX. Couplage champ-plasma : modes propres	245
IX.1. Modes propres	246
IX.2. Modèle cinétique du plasma	258
IX.3. Modèle hydrodynamique du plasma	288
X. Propagation d'une onde transverse	289
X.1. Equation de Helmholtz	290
X.2. Indice optique : propagation et absorption	291
X.3. Dispersion temporelle	292
X.4. Plasma et bremsstrahlung inverse	298
X.5. Optique géométrique : rayons optiques	301
X.6. Réflexion sur un gradient d'indice	305
X.7. Propagation dans un plasma inhomogène suivant une direction	314
XI. Couplage non-linéaire et instabilités paramétriques	329
XI.1. Analyse temporelle	330
XI.2. Analyse spatio-temporelle : couplage d'ondes	345
XI.3. Mode transverse de grande amplitude	368
XI.4. Mode longitudinal plasma de grande amplitude	391
XI.5. Bilan des instabilités	402
XI.6. Analyse WKB	403

XI.7. Instabilités absolues	422
XII. Autofocalisation et filamentation	427
XII.1. Réfraction et diffraction	428
XII.2. Mécanismes non-linéaires	429
XII.3. Equation paraxiale dans un plasma	432
XII.4. Puissance d'un faisceau et puissance seuil	433
XII.5. Formalisme de l'eikonale	439
XII.6. Dynamique de la densité : onde acoustique ionique	451
XII.7. Filamentation thermique	462
XII.8. Simulations numériques	465
XIII. Non-linéarités fortes, particules rapides	467
XIII.1. Evolution non-linéaire du couplage à 3 ondes	468
XIII.2. Compétition d'instabilités	481
XIII.3. Onde plasma de forte amplitude	490
XIII.4. Piégeage	500
XIII.5. Déferlement et/ou piégeage	503
XIII.6. Electrons et ions suprathermiques	504
XIV. Hydrodynamique	515
XIV.1. Transport thermique	516
XIV.2. Pression d'ablation	519
XIV.3. Détente et compression d'un fluide	520
XIV.4. Tube de Sod	536
XIV.5. Expansion d'un plasma dans le vide	536
XIV.6. Mise en mouvement d'une cible mince	540
XIV.7. Effet fusée	541
XIV.8. Instabilités hydrodynamiques	543
XIV.9. Problèmes et contrôle	551
XV. Fusion thermonucléaire	553
XV.1. Réactions de fusion	553
XV.2. Taux de réaction	559
XV.3. Gains et pertes	561
XV.4. Bilan énergétique	564
XV.5. Allumage dans le schéma de fusion inertielle	566
XV.6. Le scénario FCI : dynamique de la cible	573
XV.7. Réalisations	578
XV.8. Perspectives	585
XVI. Modèles numériques	591
XVI.1. La simulation numérique	592
XVI.2. Les modèles de physique des plasmas	599
XVI.3. Analyse numérique	615
XVI.4. Résolution des systèmes linéaires	634
XVI.5. Intégration numérique des équations différentielles ordinaires	634

XVI.6. Modèles cinétiques et équations de Maxwell.....	634
XVI.7. Modèles hydrodynamiques	669
XVI.8. Modèles de diffusion ou de Schrödinger	685
XVI.9. Modèles d'ondes	698
Table des matières des compléments sur le site de l'éditeur	707
Bibliographie.....	709
Index.....	717