

Obsah

PŘEDMLUVA	9
ÚVOD.....	11
1. POHYBY NABITÝCH ČÁSTIC.....	15
1.1 NERELATIVISTICKÉ POHYBY	16
1.1.1 Lagrangeova a Hamiltonova funkce	16
1.1.2 Pohyb v elektrickém poli, optická analogie	18
1.1.3 Pohyb v homogenním magnetickém poli.....	19
1.1.4 Pohyb ve zkřížených polích.....	22
1.2 RELATIVISTICKÉ POHYBY.....	25
1.2.1 Lagrangeova a Hamiltonova funkce	25
1.2.2 Pohyb v homogenním elektrickém poli	26
1.3 ADIABATICKÉ PŘIBLÍŽENÍ.....	28
1.3.1 První adiabatický invariant	29
1.3.2 Pohyb gyračního středu	30
1.3.3 Síla $-\mu\nabla B$	32
1.3.4 Driftová rovnice.....	34
1.3.5 Drifty	34
1.4 POHYBY VE SPECIÁLNÍCH KONFIGURACÍCH.....	37
1.4.1 Magnetické zrcadlo.....	37
1.4.2 Druhý adiabatický invariant, Fermiho mechanismus	38
1.4.3 Magnetický dipól, třetí adiabatický invariant	40
1.4.4 Elektrický a magnetický monopól	43
1.4.5 Tokamak	44
1.4.6 Plazmové vlákno a souvislost driftů s proudy	48
1.5 NUMERICKÉ SIMULACE POHYBU ČÁSTIC.....	50
1.5.1 Newtonovo-Eulerovo schéma (NE).....	51
1.5.2 Skákající žába aneb Leap-Frog schéma (LF).....	54
1.5.3 Přesnější schémata (RK, BB).....	55
1.5.4 Relativistická schémata.....	56

2. STATISTICKÝ POPIS PLAZMATU	59
2.1 BOLTZMANNOVA ROVNICE	60
2.1.1 Různé varianty Boltzmannovy rovnice.....	61
2.1.2 Boltzmannův srážkový člen.....	64
2.1.3 Rovnice přenosu (momentová rovnice).....	67
2.2 PŘECHOD OD STATISTIKY KE KONTINUU	71
2.2.1 Nultý moment (zachování náboje) – částice.....	71
2.2.2 Nultý moment (zachování náboje) – pole.....	72
2.2.3 První moment (zachování hybnosti) – částice.....	73
2.2.4 První moment (zachování hybnosti) – pole.....	75
2.2.5 Druhý moment (zachování energie) – částice.....	76
2.2.6 Druhý moment (zachování energie) – pole.....	77
2.3 JEDNODUCHÉ TRANSPORTNÍ JEVY	78
2.3.1 Transport náboje (Ohmův zákon).....	79
2.3.2 Transport částic (Fickův zákon).....	81
2.3.3 Ambipolární difúze.....	82
2.3.4 Difúze v magnetickém poli.....	84
2.3.5 Transport tepla (Fourierův zákon).....	87
2.3.7 Produkce entropie, Onsagerovy relace.....	88
2.4 COULOMBOVA INTERAKCE	89
2.4.1 Debyeova stínící vzdálenost.....	89
2.4.2 Coulombův rozptyl (Rutherfordova formule).....	91
2.4.3 Fokkerova-Planckova rovnice.....	94
2.4.4 Rosenbluthovy potenciály.....	96
2.4.5 Brzděná a ubíhající testovací částice.....	102
2.4.6 Relaxační časy a srážkové frekvence.....	106
2.5 MONTE CARLO SIMULACE	107
2.5.1 Generátory náhodných čísel.....	109
2.5.2 Realizace pravděpodobnostního rozdělení.....	111
2.5.3 Metropolisova metoda.....	117
2.5.4 MC simulace srážky dvou nabitých částic.....	118
3. MAGNETOHYDRODYNAMIKA	123
3.1 MINIMÁLNÍ VARIANTA	124
3.1.1 Substancionální derivace a rovnice proudnice.....	126
3.1.2 Rovnice pro magnetické pole.....	127
3.1.2 Rovnice pro hustotu.....	133
3.1.3 Rovnice pro rychlost.....	134
3.1.4 Uzavření soustavy.....	139
3.2 VYBRANÉ JEVY	140
3.2.1 Hartmannovo řešení.....	140
3.2.2 Vlny konečné amplitudy.....	144
3.2.3 Helicita.....	146
3.2.4 Tekutinové dynamo.....	151
3.2.5 Přepojení magnetických indukčních čar.....	158

3.3 NĚKTERÉ ROVNOVÁŽNÉ KONFIGURACE V PLAZMATU	166
3.3.1 Rovnováha v plazmatu.....	166
3.3.2 Proudové vlákno (pinč).....	168
3.3.3 Proudová stěna.....	173
3.3.4 Dvojvrstva	174
3.3.5 Rázové vlny	179
3.4 DIFERENČNÍ SCHÉMATA V MAGNETOHDRODYNAMICE	181
3.4.1 Parciální diferenciální rovnice.....	182
3.4.2 Tvorba diferenčních schémat.....	185
3.4.3 Posuzování stability schématu	190
4. LINEÁRNÍ VLNY V PLAZMATU	193
4.1 ZÁKLADNÍ POJMY.....	194
4.1.1 Vlnění	194
4.1.2 Rozměrová analýza (vlny na hluboké vodě).....	198
4.1.3 Lineární teorie (elektromagnetické vlny).....	201
4.1.4 Nelineární teorie (zvukové vlny)	205
4.1.5 Další příklady (Jeansovo kritérium, různé vlnové rovnice).....	208
4.2 PLAZMOVÉ OSCILACE A VLNY	214
4.2.1 Odvození disperzní relace.....	214
4.2.2 Plazmové oscilace.....	216
4.2.3 Plazmové vlny	217
4.2.4 Iontové vlny	219
4.2.5 Další vlivy.....	220
4.3 MAGNETOAKUSTICKÉ VLNY	222
4.3.1 Odvození disperzní relace.....	222
4.3.2 Vlnoplochy magnetoakustických vln.....	224
4.3.3 Směry vektorů v magnetoakustických vlnách	226
4.4 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY	227
4.4.1 Disperzní relace elektromagnetického komplexu	228
4.4.2 Stixovy koeficienty, CMA diagram.....	235
4.4.3 Faradayova rotace	238
4.4.4 Hvizdy (whistlers)	240
4.4.5 Tenzor permitivity pro elektromagnetické vlny v plazmatu	243
4.4.6 Šlířová fotografie	244
4.5 HLEDÁNÍ KOŘENŮ POLYNOMIÁLNÍ ROVNICE	246
4.5.1 Weylův algoritmus.....	246
4.5.2 Newtonův algoritmus.....	248
4.5.3 Zobecněný Newtonův algoritmus	249
5. NESTABILITY V PLAZMATU	251
5.1 NEOMEZENÉ CHLADNÉ PLAZMA	252
5.1.1 Základní pojmy	252
5.1.2 Vícesvazková nestabilita.....	255
5.1.3 Dva symetrické svazky	257

5.1.4	Nestabilita typu svazek-plazma	259
5.1.5	Další nestability (driftová, Weibelova).....	259
5.2	PLAZMA S HRANICÍ A VÝMĚNNÉ NESTABILITY	260
5.2.1	Základní vztahy, vektor posunutí.....	260
5.2.3	Nestability plazmového vlákna.....	267
5.2.4	Rayleighova-Taylorova nestabilita	274
5.2.5	Kelvinova-Helmholtzova nestabilita	278
5.2.6	Další nestability (Richtmyerova–Meškovova, diocotronová).....	281
5.2.7	Výměnné (tlakem řízené) nestability	283
5.3	REZISTIVNÍ NESTABILITY.....	288
5.3.1	Základní vztahy	288
5.3.2	Ostrůvková (tearing) nestabilita.....	291
5.3.3	Řízené rezistivní nestability.....	293
5.3.4	Tokamakové nestability	293
5.4	MIKRONESTABILITY.....	294
5.4.1	Základní vztahy	294
5.4.2	Landauův útlum na elektronech.....	295
5.4.3	Landauův útlum na iontech.....	301
5.4.4	Bernsteinovy módy	302
5.5	PIC SIMULACE.....	303
5.5.1.	Váhování.....	305
5.5.2.	Řešení polí	306
5.5.3.	Řešení pohybu částic	308
DODATKY	309	
DODATEK A – UŽITEČNÉ VZTAHY.....	310	
A1	Některé integrály a řady.....	310
A2	Vektorový součin a některé vektorové identity	311
A3	Základní vztahy z komplexní analýzy	312
A4	Některé speciální funkce.....	318
A5	Výpočet Rosenbluthových potenciálů pro Maxwellovo rozdělení rychlostí.....	322
A6	Základní trigonometrické vztahy	324
DODATEK B – ZOBECNĚNÉ FUNKCE.....	326	
B1	Diracova distribuce	326
B2	Konvoluce	330
B3	Greenův operátor a Greenova funkce.....	330
B4	Fourierova transformace	332
B5	Obecné řešení rovnice difúze	333
DODATEK C – KŘIVOČARÉ SOUŘADNICE, VÍCEROZMĚRNÉ INTEGRÁLY	335	
C1	Křivočaré souřadnice	335
C2	Křivkové, plošné a objemové integrály.....	337
C3	Vnější algebra	339

DODATEK D – PŘEHLED VZTAHŮ A DEFINIC.....	341
D1 Základní vztahy.....	341
D2 Bezrozměrné charakteristiky plazmatu.....	344
D3 Potenciály elektromagnetického pole	346
DODATEK E – MULTIPÓLOVÝ ROZVOJ	347
E1 Rozvoj potenciálu elektrostatického pole.....	347
E2 Rozvoj potenciálu magnetostatického pole	350
SEZNAM SYMBOLŮ	353
REJSTŘÍK OSOBNOSTÍ.....	359
REJSTŘÍK POJMŮ	369
LITERATURA.....	373
PŘÍLOHA ANEB O ČEM BYSTE MĚLI VĚDĚT	377

