

Cuprins

Prefață	9
Introducere	11
I Teoria de echilibru MHD a unei plasme ideale	13
1 Modelul MHD ideal	15
1.1 Descrierea modelului MHD ideal	15
1.1.1 Densitatea de curent paralel când plasma se află la echilibru . .	17
1.2 Condiții pe frontieră	18
1.2.1 Plasma mărginită de perete perfect conductor	19
1.2.2 Plasma separată de perețele perfect conductor printr-o regiune de vid	19
1.3 Soluții probleme capitolul 1	20
2 Descrierea calitativă a echilibrului MHD	23
2.1 Modelul MHD de echilibru	25
2.1.1 Suprafețe de flux	25
2.1.2 Suprafețele de curent	26
2.1.3 Presiunea magnetică și tensiunea magnetică	26
2.2 Echilibrul radial de presiune	27
2.2.1 Configurația θ - <i>pinch</i>	27
2.2.2 Configurația z - <i>pinch</i>	29
2.2.3 Configurația de curent elicoidal (<i>screw-pinch</i>)	32
2.2.4 Definiția parametrului β pentru configurația de curent elicoidal	33
2.3 Echilibrul forțelor toroidale	35
2.3.1 Forțe toroidale orientate către exterior	35
2.3.2 Forța toroidală de echilibrare	36
2.4 Soluții probleme capitolul 2	39
3 Echilibrul plasmei cilindrice circulare	41
3.1 Curentul longitudinal, factorul de siguranță și forfecarea în cazul unei plasme cilindrice	42
3.2 Aproximația raport de aspect mare	45
3.2.1 Model analitic pentru calcularea echilibrului forțelor toroidale .	46

3.3	Soluții probleme capitolul 3	52
4	Ecuatiile de echilibru a unei plume exprimate în coordonate curbilini	59
4.1	Componentele câmpului magnetic în sisteme de coordonate curbilini .	59
4.1.1	Componentele covariante și contravariante ale câmpului magnetic în geometria cilindrică	63
4.2	Reprezentări ale câmpului magnetic toroidal	64
4.2.1	Reprezentarea Clebsch a câmpului magnetic	64
4.2.2	Coordonate de flux magnetic	65
4.2.3	Coordonatele de simetrie	67
4.3	Componentele densității de curent în coordonate curbilini	68
4.4	Condiția pentru echilibrul plumei	70
4.5	Condiția de echilibru oscilant	70
4.6	Relațiile dintre câmpuri și curenți	72
4.7	Soluții probleme capitolul 4	73
5	Echilibrul unei plume în sisteme axisimetrice. Ecuatia Grad-Shafranov.	77
5.1	Deplasarea axei magnetice și coeficienții metrici	82
5.2	Soluții probleme capitolul 5	87
II	Stabilitatea MHD ideală	91
6	Conceptul de stabilitate	93
6.1	Introducere	93
6.2	Conceptul de stabilitate marginală	93
6.3	Conceptul linii de câmp magnetic înghețate	95
7	Formularea generală a problemei stabilității plumei MHD ideale	97
7.1	Conceptul de stabilitate liniară	97
7.2	Ecuatiile de stabilitate liniară MHD	98
7.2.1	Termeni dominanți în viteza de curgere a plumei	100
7.3	Ecuatiile MHD liniarizate	101
7.3.1	Ecuatia de mișcare liniarizată în perturbații	101
7.3.2	Relația dintre perturbația presiunii și vectorul deplasare	102
7.3.3	Relația dintre perturbația câmpului magnetic și vectorul deplasare	102
7.3.4	Ecuatia pentru variația spațială a perturbației curentului toroidal de-a lungul câmpului magnetic de echilibru.	103
7.3.5	Relația pentru perturbația curentului radial	103
7.3.6	Ecuatia mișcării perturbate de-a lungul câmpului magnetic de echilibru	104
7.4	Forța datorată perturbației ce acționează asupra fluidului de plasmă .	104
7.4.1	O proprietate generală a stabilității MHD liniare	105
7.4.2	Metoda modului normal	106
7.4.3	Formularea variațională a problemei stabilității	106
7.5	Soluții probleme capitolul 7	107

8	Principiul energiei în magnetohidrodinamica ideală	111
8.1	Condiții pe frontieră	111
8.2	Principiul extins al energiei	113
8.3	Interpretarea intuitivă a energiei fluidului de plasmă	116
8.4	Soluții probleme capitolul 8	118
9	Plasma omogenă infinită - unde MHD	119
9.1	Deducerea generală a undelor MHD	119
9.1.1	Unda Alfven de forfecare	120
9.1.2	Unda Alfven compresională	121
9.1.3	Unda sonoră	124
9.2	Soluții probleme capitolul 9	125
10	Problema stabilității în aproximația cilindrică	127
10.1	Perturbații ideale la limita de stabilitate	128
10.1.1	Structura de mod toroidal	131
10.1.2	Soluția pentru Y în funcție de X	132
10.1.3	Ecuția pentru X	133
10.2	Principiul energiei pentru configurația curent elicoidal (<i>screw-pinch</i>)	137
10.2.1	Evaluarea termenului de plasmă $\delta W_{plasmă}$	138
10.3	Soluții probleme capitolul 10	142
11	Efecte inerțiale în plasma ideal conductoare	154
11.1	Stabilitatea unei plasme cilindrice	154
11.1.1	Expresia lui ξ_θ și a derivatei sale în funcție de X	156
11.1.2	Evaluarea lui $L_{1in}(X)$	157
11.2	Efecte inerțiale în vecinătatea suprafeței magnetice rezonante	158
11.3	Soluții probleme capitolul 11	159
III	Instabilități MHD	169
12	Clasificarea instabilităților MHD ideale	171
12.1	Moduri interne și moduri externe	171
12.2	Moduri determinate de presiune	172
12.2.1	Moduri de interschimb (<i>interchange modes</i>)	172
12.2.2	Moduri balon (<i>ballooning modes</i>)	175
12.3	Moduri determinate de curent	176
12.3.1	Moduri de răsucire (<i>kink modes</i>)	176
13	Instabilități de tip Rayleigh-Taylor	178
13.1	Instabilitatea Rayleigh-Taylor în fluide neutre	178
13.1.1	Metoda energiei	179
13.1.2	Metoda modului normal	181
13.2	Instabilitatea Rayleigh-Taylor în fluide cu conductivitate electrică finită aflate în câmp magnetic	185

14 Instabilitățile unei plasme cilindrice	191
14.1 Instabilitățile unei plasme cilindrice cu frontieră netă	191
14.1.1 Ecuația de dispersie pentru modul cu $m = 0$	193
14.1.2 Ecuația de dispersie pentru modul cu $m = 1$	194
14.1.3 Ecuația de dispersie în cazul $ B_{ez} \gg B_{\theta} $	196
14.2 Moduri de interschimb.	198
14.2.1 Criteriul de stabilitate Suydam	198
14.2.2 Principiul energiei pentru modurile de interschimb	200
14.2.3 Relația de dispersie	202
15 Instabilități de tip balon	206
15.1 Periodicitate, lungime de undă paralelă mare și forfecare	206
15.2 Stabilitatea magnetohidrodinamică a plasmei toroidale la moduri balon	207
15.3 Condiția de interschimb	209
16 Instabilități de răsucire	212
16.1 Moduri interne de răsucire	212
16.2 Moduri externe de răsucire	214
16.2.1 Instabilitatea Kruskal-Shafranov $m = 1$	215
16.2.2 Moduri externe de răsucire cu $m \geq 2$	216
A Coordonate curbilinii	218
A.1 Informații generale	218
A.1.1 Interpretare geometrică a coordonatelor curbilinii	219
A.2 Componente covariante și componente contravariante. Tensorul metric.	220
A.2.1 Lungimea unui vector în coordonate curbilinii	222
A.3 Analiza vectorială în sisteme de coordonate curbilinii	223
A.4 Coordonate curbilinii ortogonale	224
A.4.1 Factori de scală	224
A.4.2 Operatori diferențiali	225
A.5 Cazuri particulare de sisteme ortogonale de coordonate	226
A.5.1 Sistem de coordonate carteziene	226
A.5.2 Sistem de coordonate cilindric axial	227
A.5.3 Sistem de coordonate toroidale axisimetrice	230
A.6 Identități vectoriale	232
A.7 Identități de calcul operatorial	232
Bibliografie	234