

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Развитие теории гидромагнитных неустойчивостей токамаков.

*А. Б. Михайловский*

Введение . . . . .	3
<b>Глава 1. Методика учета тороидальности в теории гидромагнитных неустойчивостей токамака . . . . .</b>	<b>4</b>
§ 1.1. Введение . . . . .	4
§ 1.2. Ковариантное уравнение малых колебаний . . . . .	6
§ 1.3. Связь ковариантного уравнения малых колебаний с функционалом потенциальной энергии . . . . .	8
§ 1.4. Уравнения мелкомасштабных МГД-возмущений . . . . .	10
§ 1.5. Уравнения для низших идеальных МГД-возмущений . . . . .	12
§ 1.6. Учет инерции в идеальных МГД-возмущениях . . . . .	15
§ 1.7. Обзор литературы . . . . .	20
<b>Глава 2. Желобковые и баллонные неустойчивости в токамаке с большим <math>\beta</math> . . . . .</b>	<b>22</b>
§ 2.1. Общий анализ мелкомасштабных МГД-возмущений токамака с большим $\beta$ . . . . .	22
§ 2.2. Невыполнение критерия устойчивости Мерсье при $\beta \geq a/Rq^2$ . . . . .	26
§ 2.3. Достаточный критерий устойчивости возмущений типа анти-Сайдема . . . . .	29
§ 2.4. Устойчивость баллонных возмущений при $\beta \lesssim a/Rq^2$ . . . . .	30
§ 2.5. Возможность неустойчивости возмущений типа анти-Сайдема при $\beta > a/Rq^2$ . . . . .	32
§ 2.6. Обсуждение результатов и обзор литературы . . . . .	32
<b>Глава 3. Внутренние винтовые неустойчивости . . . . .</b>	<b>33</b>
§ 3.1. Введение . . . . .	33
§ 3.2. Общие свойства винтовых возмущений в токамаке с плазмой низкого давления и малым градиентом тока . . . . .	37
§ 3.3. Стабилизация внутренних винтовых неустойчивостей с $m = 1$ в токамаке круглого сечения с плазмой низкого давления и малым градиентом тока . . . . .	39
§ 3.4. Стабилизирующее влияние квадрата градиента давления плазмы на возмущения с $m = 1$ в токамаке круглого сечения при малом градиенте тока . . . . .	41

§ 3.5. Дестабилизирующее влияние градиента продольного тока в круглом токамаке с плазмой большого давления . . . . .	43
§ 3.6. Обсуждение результатов и обзор литературы . . . . .	44

### Глава 4. Дрейфовые эффекты в теории МГД-возмущений токамака . . . . .

§ 4.1. Введение . . . . .	45
§ 4.2. Исходные уравнения . . . . .	46
§ 4.3. Внутренняя винтовая неустойчивость с $m = 1$ . . . . .	47
§ 4.4. Возмущения типа Сайдема . . . . .	49
§ 4.5. Резистивная внутренняя винтовая неустойчивость с $m = 1$ . . . . .	50
§ 4.6. Гравитационно-резистивная и разрывная неустойчивости . . . . .	52
§ 4.7. Кинетические дрейфовые эффекты в МГД-возмущениях токамака . . . . .	54
§ 4.8. Обсуждение результатов . . . . .	57

### Список литературы . . . . .

#### Нелинейные волны и солитоны

*В. И. Петвиашвили*

§ 1. Введение . . . . .	59
§ 2. ВЧ-диамагнетизм и циклотронные солитоны . . . . .	60
§ 3. Двумерный солитон потенциальной дрейфовой волны . . . . .	65
§ 4. Уравнения МГД-волн с осевой симметрией . . . . .	68
§ 5. Магнитно-звуковой вихрь . . . . .	70
§ 6. Двумерный альфвеновский вихрь . . . . .	72
§ 7. Одномерные альфвеновские солитоны и природа «жемчужин» . . . . .	74
§ 8. Образование МГД-солитонов . . . . .	76
§ 9. Взаимодействие пучка частиц с периодической ленгмюровской волной . . . . .	78
Список литературы . . . . .	81

#### Вопросы теории коллективных процессов в токамаке с группой быстрых ионов

*А. Б. Михайловский*

Введение . . . . .	83
<b>Глава 1. Коллективные процессы при поперечной инжекции быстрых нейтральных атомов . . . . .</b>	<b>84</b>
§ 1.1. Введение . . . . .	84
§ 1.2. Квазилинейная релаксация группы быстрых ионов, движущихся поперек магнитного поля . . . . .	85
§ 1.3. Неустойчивости столкновительных равновесий в режиме непрерывной инжекции . . . . .	89
§ 1.4. Другие результаты теории коллективных процессов в токамаке с инжекцией нейтральных атомов . . . . .	91

<b>Глава 2. Линейная теория магнитно-звуковой циклотронной «термоядерной» неустойчивости</b>	95
§ 2.1. Введение	95
§ 2.2. Возмущенная функция распределения	97
§ 2.3. О влиянии шира на возмущения с $k_{\parallel} = 0$	101
§ 2.4. Возмущения с $k_{\parallel} = 0$ в приближении однородного магнитного поля	102
§ 2.5. Дисперсионное уравнение колебаний плазмы в слаботороидальном магнитном поле	105
§ 2.6. Диэлектрическая проницаемость осесимметричного токамака круглого сечения	106
§ 2.7. Стабилизация неустойчивости с $\gamma \sim (N_{\alpha}/N_0)^{1/2}$	109
§ 2.8. Циклотронная неустойчивость, вызываемая запертыми $\alpha$ -частицами	111
§ 2.9. Стабилизация циклотронной неустойчивости при большом тепловом разбросе запертых $\alpha$ -частиц	117
§ 2.10. Обзор работ по термоядерным неустойчивостям	118
<b>Глава 3. Квазилинейная релаксация запертых <math>\alpha</math>-частиц в реакторе-токамаке при циклотронной магнитно-звуковой неустойчивости</b>	122
§ 3.1. Введение	122
§ 3.2. Вывод уравнений квазилинейной релаксации запертых $\alpha$ -частиц	122
§ 3.3. Упрощенные уравнения квазилинейной релаксации	124
§ 3.4. Анализ квазилинейных уравнений	127
§ 3.5. Суммирование и обсуждение результатов	130
<b>Глава 4. Общие вопросы линейной теории альфвеновских неустойчивостей токамака с быстрыми ионами</b>	131
§ 4.1. Введение	131
§ 4.2. Уравнение малых колебаний альфвеновского типа, учитывающее шир и диссипацию на фоновой плазме	132
§ 4.3. Вклад быстрых ионов в инкремент нарастания альфвеновских волн	140
§ 4.4. Вклад столкновительной диссипации на запертых электронах в уравнение малых колебаний квазичетных альфвеновских возмущений	144
§ 4.5. Вклад столкновительной диссипации на запертых электронах в декремент квазинечетных альфвеновских возмущений	147
<b>Глава 5. Некоторые результаты линейной теории альфвеновских неустойчивостей, возбуждаемых быстрыми ионами</b>	151
§ 5.1. Введение	151
§ 5.2. Обзор первоначальных результатов по влиянию шира и диссипации на фоновой плазме на раскачку альфвеновских волн быстрыми ионами	152
§ 5.3. Стабилизация запертыми электронами альфвеновской неустойчивости в двухкомпонентном токамаке	157
§ 5.4. Возбуждение продольным ионным пучком коротковолновых альфвеновских возмущений	161

§ 5.5. Альфвеновские неустойчивости на запертых $\alpha$ -частицах с немонотонным распределением по скоростям	164
§ 5.6. Дрейфовые термоядерные неустойчивости на баунс-резонансах и их стабилизация запертыми электронами	166
§ 5.7. Альфвеновская неустойчивость в двухкомпонентном токамаке некруглого сечения	168
§ 5.8. Стабилизация альфвеновской неустойчивости в двухкомпонентном токамаке некруглого сечения	172
§ 5.9. Заключительные замечания о работах по линейной теории альфвеновских неустойчивостей	174

<b>Глава 6. Квазилинейная теория альфвеновских неустойчивостей</b>	176
§ 6.1. Введение	176
§ 6.2. Квазилинейная релаксация продольного ионного пучка в пренебрежении кулоновскими столкновениями	176
§ 6.3. Квазилинейная релаксация продольного ионного пучка при учете кулоновских столкновений	181
§ 6.4. Квазилинейная релаксация пролетных $\alpha$ -частиц	187
§ 6.5. Другие результаты квазилинейной теории альфвеновских неустойчивостей	188

<b>Глава 7. Нелинейное взаимодействие пучка быстрых частиц с монохроматической волной</b>	188
§ 7.1. Введение	188
§ 7.2. Продольный ионный пучок с постоянным числом частиц	189
§ 7.3. Нелинейная эволюция ленгмюровской монохроматической волны при наличии источника резонансных частиц	191
§ 7.4. Эволюция нелинейной альфвеновской волны в токамаке с непрерывной инжекцией нейтральных частиц	197

Заключение	199
Список литературы	200

#### К теории альфвеновских колебаний неоднородной плазмы

*А. В. Тимофеев*

§ 1. Введение	205
§ 2. Вопрос о собственных колебаниях. Аналог теоремы Рэлея	208
§ 3. Эволюция начальных возмущений	218
§ 4. Флуктуации в неравновесной плазме	224
Приложение	229
Список литературы	231

#### Неустойчивости несобственных колебаний

*В. А. Мазур, А. Б. Михайловский, А. Л. Френкель, И. Г. Шухман*

§ 1. Введение	233
§ 2. Несобственные ленгмюровские и альфвеновские колебания холодной неоднородной плазмы	237
§ 3. Гидродинамические эффекты в горячей плазме	240

§ 4. Пучковая неустойчивость несобственных ленгмюровских колебаний . . . . .	242
§ 5. Пучковая неустойчивость несобственных альфвеновских колебаний в токамаке . . . . .	246
§ 6. Обсуждение результатов . . . . .	252
Список литературы . . . . .	255

**Неустойчивости квазинечетных возмущений в токамаке**

*В. А. Мазур, А. Б. Михайловский, А. Г. Морозов, И. Г. Шухман*

§ 1. Введение . . . . .	256
§ 2. Квазинечетные дрейфовые возмущения. . . . .	256
§ 3. Квазинечетные возмущения, обусловленные наличием запертых ионов . . . . .	260
§ 4. Неустойчивости квазинечетных возмущений на примесях . . . .	264
Список литературы . . . . .	265