

**А. М. Игнатов, Н. Г. Гусейн-заде**

# **НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ ИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ**

**Гамильтонов формализм  
для неравновесных сред**



URSS

**А. М. Игнатов  
Н. Г. Гусейн-заде**

# **НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ ИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ**

**Гамильтонов формализм  
для неравновесных сред**



**URSS  
МОСКВА**

ББК 22.318 22.333  
УДК 533.9

**Игнатов Александр Михайлович,  
Гусейн-заде Намик Гусейнага оглы**

**Нелинейная теория неустойчивостей идеальной плазмы: Гамильтонов формализм для неравновесных сред. — М.: ЛЕНАНД, 2017. — 176 с.**

Монография посвящена развитию теории неустойчивостей идеальной плазмы, то есть быстрых процессов, для которых не существенна диссипация энергии. С использованием методов гамильтоновой динамики дана классификация различных нелинейных процессов, обсуждаются универсальные укороченные уравнения. Общая теория иллюстрируется примерами из релятивистской электроники и теории заряженной плазмы. Обсуждаются также кинетические процессы в бесстолкновительной плазме.

Книга рассчитана на специалистов, работающих в областях физики плазмы, физической электроники и радиофизики, а также на студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей.

**Рецензенты:**

профессор физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова,  
д-р физ.-мат. наук, проф. *М. В. Кузелев*;  
лауреат Государственных премий и премии имени М. В. Ломоносова МГУ,  
д-р физ.-мат. наук, проф. *А. А. Рухадзе*

Формат 60×90/16. Печ. л. 11. Зак. № АЛ-809.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-9710-4521-2

© ЛЕНАНД, 2017

19925 ID 227038



9 785971 045212



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

# Оглавление

<b>1 ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>6</b>
1.1 Терминология . . . . .	6
1.2 Укороченные уравнения . . . . .	10
<b>2 ГАМИЛЬТОНОВО ОПИСАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ</b>	<b>15</b>
2.1 Гамильтоново описание плазмы . . . . .	15
2.2 Неканонические скобки Пуассона . . . . .	20
2.3 Нормальная форма квадратичного гамильтониана . . . . .	25
2.4 Теория возмущений . . . . .	31
2.5 Взаимодействие трех неустойчивых мод . . . . .	36
2.6 Нелинейный сдвиг частоты . . . . .	42
2.7 Укороченные уравнения вблизи порога неустойчивости . . . . .	47
2.8 Связанные волны . . . . .	55
<b>3 ДВУХПОТОКОВЫЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ</b>	<b>66</b>
3.1 Неограниченное пространство . . . . .	67
3.2 Двухпотоковая неустойчивость в волноводе . . . . .	74
3.3 Рамановский режим . . . . .	78
3.4 Цилиндрическая геометрия . . . . .	84
3.4.1 Цель . . . . .	84
3.4.2 Исходные уравнения . . . . .	86
3.4.3 Укороченные уравнения . . . . .	91
3.4.4 Малая плотность пучка . . . . .	97
<b>4 ДИОКОТРОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЗАРЯЖЕННОЙ ПЛАЗМЫ</b>	<b>102</b>
4.1 Метод контурной динамики . . . . .	103
4.2 Слой заряженной плазмы . . . . .	108
4.3 Трубочатая плазма . . . . .	111
4.3.1 Матричные элементы . . . . .	113

## ОГЛАВЛЕНИЕ

4.3.2	Нелинейная эволюция отдельной моды колебаний	117
4.4	Трубчатая плазма в волноводе	120
4.4.1	Матричные элементы	121
4.4.2	Стационарные $V$ -состояния	125
<b>5</b>	<b>КИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПЛАЗМЕ</b>	<b>129</b>
5.1	Уравнение Власова	129
5.1.1	Преобразование Фурье	131
5.1.2	Собственные функции оператора Власова	134
5.2	Канонические переменные для уравнения Власова	139
5.2.1	Параметризация симплектического листа	139
5.2.2	Одномерное уравнение Власова	140
5.3	Кинетическая неустойчивость плазмы	143
5.3.1	Собственные моды	143
5.3.2	Влияние распадов на кинетическую пучковую неустойчивость	145
5.4	Многопоточковое описание кинетики плазмы	151
	<b>БАЛАНС ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ СПЛОШНЫХ СРЕД</b>	<b>160</b>
	<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>168</b>