

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени В. Н. КАРАЗИНА

Серия «Проблемы теоретической
и математической физики»

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Научные труды

Выпуск 2

Харьков – 2017

УДК 53.01
ББК 22.3
П 78

**Серия «Проблемы теоретической и математической физики. Научные труды»
под общей редакцией академика А. Г. Загороднего, академика Н. Ф. Шульги**

Рецензенты:

академик НАН Украины **Локтев В. М.**;
член-корр. НАН Украины **Папицкий Э. А.**

*Утверждено к печати решением Ученого совета
Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
(протокол № 13 от 31.10.2016 г.)*

Проблемы теоретической физики. Научные труды. Выпуск 2 / В. А. Буц, А. Г. Загородний, А. В. Киричок, В. М. Конторович, В. М. Куклин, А. А. Рухадзе, В. П. Силин, А. В. Тур, В. В. Яновский ; под общей редакцией А. Г. Загороднего, Н. Ф. Шульги, ред. вып. В. М. Куклин. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2017. – Вып. 2. – 376 с. (Сер. «Проблемы теоретической и математической физики» ; под общ. ред. А. Г. Загороднего, Н. Ф. Шульги).

ISBN 978-966-285-377-5

Представлены становление теоретических представлений о бесстолкновительной плазме. Показано, что обнаруженный В. Е. Захаровым механизм нелинейного поглощения ленгмюровских колебаний в плазме имеет место и в случае параметрической неустойчивости интенсивных полей в холодной плазме, описываемых уравнениями В. П. Силина. Рассмотрено применение кинетических уравнений слабой турбулентности, в частности, в астрофизических приложениях. Обсуждается описание регулярной и хаотической динамики частиц в очень сильных полях внешнего, в основном лазерного излучения в многоволновых режимах генерации и усиления. Рассматриваются особенности динамики частиц и объектов с дополнительными степенями свободы в различных приложениях.

Для ученых в области естествознания, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов физических факультетов.

**УДК 53.01
ББК 22.3**

ISBN 978-966-285-144-1 (вып. 1)

© Национальная академия наук Украины, 2014
© Харьковский национальный университет имени
В. Н. Каразина, 2014

ISBN 978-966-285-377-5 (вып. 2)

© Национальная академия наук Украины, 2017
© Харьковский национальный университет имени
В. Н. Каразина, 2017
© В. А. Буц, А. Г. Загородний, А. В. Киричок,
В. М. Конторович, В. М. Куклин, А. А. Рухадзе,
В. П. Силин, А. В. Тур, В. В. Яновский, 2017
© Дончик И. Н., макет обложки, 2017

О Г Л А В Л Е Н И Е

От редакторов научных трудов	7
------------------------------------	---

ЧАСТЬ I. ПУТЬ СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПЛАЗМЕ БЕЗ СТОЛКНОВЕНИЙ

	9
--	---

А. А. Рухадзе, В. П. Силин

1. Введение	10
2. Становление теоретических представлений о бесстолкновительной плазме.....	14
3. Кинетическое уравнение Больцмана и интеграл столкновений Ландау	17
4. Кинетическое уравнение А. А. Власова с самосогласованным полем	19
5. Завершение построения физической кинетики плазмы без столкновений.....	23
Список литературы.....	24

ЧАСТЬ II. ОДНОМЕРНЫЕ МОДЕЛИ ЗАХАРОВА И СИЛИНА МОДУЛЯЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНЫХ ЛЕНГМЮРОВСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ПЛАЗМЕ.....

	27
--	----

А. Г. Загородний, А. В. Киричок, В. М. Куклин

1. Введение	29
1.1. Неизотермическая плазма	31
1.2. Холодная плазма	34
1.3. О сравнении моделей Захарова и Силина	36
2. Холодная плазма, одномерные уравнения Силина	37
2.1. Уравнения гидродинамической модели Силина в условиях $W = E_0 ^2 / 4\pi \gg n_0 T_e$	45
2.2. Уравнения гибридной модели Силина в условиях $W = E_0 ^2 / 4\pi \gg n_0 T_e$	45
3. Неизотермическая плазма, одномерные уравнения Захарова	46

3.1. Гидродинамическая модель Захарова (сверхзвуковой режим) в условиях $W = E_0 ^2 / 4\pi \ll n_0 T_e$	53
3.2. Гибридная модель Захарова в условиях $W = E_0 ^2 / 4\pi \ll n_0 T_e$	53
4. Линейная теория	54
5. Модуляционная неустойчивость ленгмюровской волны в холодной плазме	56
5.1. Гидродинамическая модель Силина	56
5.2. Гибридная модель Силина	58
5.3. Сравнение гидродинамической и гибридной моделей Силина	60
6. Модуляционная неустойчивость ленгмюровской волны в неизотермической плазме	60
6.1. Кинетическая (Власова–Пуассона) модель	61
6.2. Комбинированная модель Власова–Пуассона	61
6.3. Сравнение кинетических (Власова–Пуассона) моделей и гидродинамической модели Захарова	62
6.4. Сравнение гидродинамической и гибридной моделей Захарова	63
7. Сравнение гибридных моделей Захарова и Силина	65
7.1. Условия моделирования	65
7.2. Результаты моделирования	67
8. Заключение	73
Список литературы	75

ЧАСТЬ III. ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ. ЭЛЕМЕНТАРНОЕ ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ С ПРИМЕНЕНИЯМИ К ФИЗИКЕ ПЛАЗМЫ И АСТРОФИЗИКЕ. СТОХАСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

В. М. Конторович	
1. Введение	82
2. Кинетические уравнения	82
3. Слабая турбулентность и распределения с потоками по спектру	87
4. Взаимосвязь равновесных и потоковых слаботурбулентных распределений	91
4.1. Распределения с потоком и температурой (на примере взаимодействия электронов и излучения)	93
4.2. Плазменный турбулентный реактор (ПТР) – пример турбулент- ной системы с потоком по спектру	95
4.3. Направление потоков по спектру и нормировка распределений	96
5. Кинетическое уравнение Смолуховского и слияния галактик	97
5.1. Вероятность слияния галактик	98
5.2. Функция масс	99
5.3. «Взрывная» эволюция галактик	100

5.4. Активность и слияния	102
6. Степенные спектры в природе	103
Приложение I. Преобразования симметрии кинетических уравнений	105
Приложение II. Развитое волнение	108
Приложение III. Эволюция далеких галактик. Кинетическое описание	113
Заключение. Даунсайзинг	117
Список литературы	117

ЧАСТЬ IV. РЕГУЛЯРНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ТИПА ВОЛНА-ЧАСТИЦА

В. А. Буц	
Введение	124
1. Регулярная динамика взаимодействия типа волна-частица	128
1.1. Динамика заряженных частиц в поле электромагнитных волн большой напряженности в отсутствие внешнего магнитного поля	128
1.2. Роль сил трения (в том числе радиационного трения) при лазерном ускорении заряженных частиц	145
1.3. Движение заряженных частиц в поле электромагнитной волны произвольной поляризации и в постоянном магнитном поле	151
1.4. Особенности движения частиц в условиях авторезонанса	160
1.5. Самосогласованная нелинейная теория МЦР. (Приближение изолированного нелинейного циклотронного резонанса	165
2. Хаотическая динамика частиц при взаимодействиях типа волна-частица	170
2.1. Динамика частиц в поле нескольких поперечных электромагнитных волн	171
2.2. Возникновение хаотической динамики частиц, движущихся в постоянном магнитном поле и в поле одной электромагнитной волны	180
2.3. Самосогласованная нелинейная теория МЦР.	184
2.4. Авторезонанс	188
2.5. Парадигмы динамического хаоса	194
Заключение	236
Список литературы	238

ЧАСТЬ V. ЧАСТИЦЫ С ВНУТРЕННИМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

В. В. Яновский, А. В. Тур	
1. Введение	243
2. Структурно-сложная частица с внутренними степенями свободы	246

3. Кинематика структурно-сложной частицы с одной внутренней степенью свободы.....	248
4. Биллиардный формализм.....	251
5. Частица с двумя и более внутренними степенями свободы	255
6. Взаимодействие структурно-сложной частицы с барьером	260
7. Рассеяние структурно-сложных частиц.....	271
8. Столкновение наночастиц с барьером.....	294
9. Биллиардный формализм заряженной структурно-сложной частицы во внешних полях.....	304
10. Движение частицы с одной внутренней степенью свободы в постоянном электрическом поле.....	306
11. Обобщение принципа спрямления траекторий	311
12. Режимы движения структурно-сложной частицы с двумя степенями свободы	320
13. Излучение структурно-сложной частицы	327
14. Обобщение структурно-сложных частиц на трехмерный случай	332
15. Режимы движения	336
Список литературы	349