

ПЛАЗМЕННАЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИКА

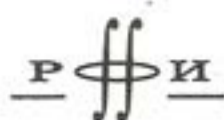
ТОМ II

Под редакцией академика РАН Л. М. Зеленого
и д. ф.-м. н. И. С. Веселовского



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2008

УДК 523; 533.9
ББК 22.65; 22.632
П 37



Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 07-02-07012

*Рукопись подготовлена
в рамках программы Отделения физических наук РАН 2003–2008 гг.
ОФН-16 «Плазменные процессы в Солнечной системе»*

Плазменная гелиогеофизика. В 2 т. Т. II / Под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовско-го. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 560 с. — ISBN 978-5-9221-1041-9.

Плазменная гелиогеофизика занимается проблемами, в основе которых лежат процессы, происходящие в космическом пространстве и описываемые в рамках электродинамики и физики плазмы. Книга написана ведущими российскими специалистами и представляет собой монографию, отражающую современный уровень исследований, основные достижения, проблемы и нерешенные вопросы. Первый том посвящен физике Солнца, солнечного ветра, гелиосферы и магнитосферы Земли. Во второй том вошли главы, посвященные ионосфере Земли и планет, солнечно-земным связям, взаимодействию солнечного ветра с различными объектами Солнечной системы, пылевой плазме, основным понятиям физики плазмы.

Книга предназначена специалистам в области физики плазмы, космической физики, студентам и учащимся. Отдельные ее материалы могут быть использованы в качестве справочного и учебного пособия также более широким кругом читателей.

Том II

Глава 5. Магнитосферы планет и взаимодействие солнечного ветра с малыми и немагнитными телами Солнечной системы (Под ред. А.А. Скальского)	11
5.1. Взаимодействие комет с солнечным ветром (М.И. Веригин)	12
5.1.1. Обзор физических процессов в окрестности комет	12
5.1.2. Ускорение кометных ионов в солнечном ветре	18
5.1.3. Пространственное распределение нейтрального газа	22
5.1.4. Торможение солнечного ветра до ударной волны	25
5.1.5. Околокометная ударная волна	27
5.1.6. Кометошит	30
5.1.7. Кометопауза	36
5.1.8. Область кометной плазмы	42
5.1.9. Контактная поверхность и ионосфера	47
5.2. Взаимодействие солнечного ветра с Венерой и Марсом (М.И. Веригин, А.А. Скальский)	49
5.2.1. Введение	49
5.2.2. Прямое воздействие солнечного ветра на ионосферу Венеры, наведенная магнитосфера	51
5.2.3. Область форшока, околопланетная ударная волна и магнитослой	53
5.2.4. Ионопауза и магнитный барьер	54
5.2.5. Магнитные жгуты в ионосфере	55
5.2.6. Магнитный хвост Венеры	55
5.2.7. Особенности взаимодействия Марса с солнечным ветром	57
5.3. Магнитосфера Меркурия (А.А. Скальский)	60
5.4. Магнитосфера Юпитера (И.И. Алексеев, Е.С. Беленькая, П.А. Беспалов)	61
5.4.1. Введение	61
5.4.2. Модели юпитерианской магнитосферы	62
5.4.3. Параболоидная модель	63
5.4.4. Некоторые особенности коллективных процессов в магнитосфере быстро-вращающегося Юпитера	74
5.5. Магнитное окружение Луны (А.М. Садовский)	82
5.5.1. Магнетизм Луны	83
5.5.2. Взаимодействие Луны с солнечным ветром и магнитосферой Земли	87
Глава 6. Ионосфера Земли (М.Г. Дёминов)	92
6.1. Уравнения переноса	96
6.1.1. Нейтральная составляющая атмосферы	98
6.1.2. Концентрация электронов и ионов	100
6.1.3. Температура электронов и ионов	109
6.1.4. Электрические поля и токи	113
6.2. Ионизационно-рекомбинационные процессы	117
6.3. Средние широты	124
6.3.1. Невозмущенные условия	124
6.3.2. Внезапное ионосферное возмущение	134
6.3.3. Суббуря	134
6.3.4. Буря	139
6.4. Низкие широты	141
6.4.1. Экваториальная аномалия	141
6.4.2. Экваториальные пузыри	144
6.4.3. Сверхохлаждение электронов и ионов	146
6.4.4. Возмущенные условия	147
6.5. Высокие широты	150
6.5.1. Конвекция	151
6.5.2. Авроральная область	154
6.5.3. Субавроральная область	157

Глава 7. Ионосферы планет (Н.А. Арманд, Т.К. Бреус)	164
7.1. Ионосфера Марса	164
7.2. Ионосфера Венеры	170
Глава 8. Солнечно-земные связи и космическая погода (Под ред. А.А. Петруковича)	175
8.1. Введение (А.А. Петрукович)	175
8.2. Система солнечно-земных связей (А.А. Петрукович, А.В. Дмитриев, А.Б. Струминский)	176
8.2.1. Общие положения	176
8.2.2. Солнечное магнитное поле и солнечная активность	176
8.2.3. Излучение Солнца	178
8.2.4. Магнитосфера Земли	184
8.2.5. Ионосфера и атмосфера	190
8.3. Эффекты космической погоды (А.А. Петрукович, Т.К. Бреус, М.Г. Дёминов, А.В. Дмитриев, А.А. Криволицкий, В.М. Петров, С.А. Пулинец, О.М. Распопов, Ю.А. Наговицын, Л.Д. Трищенко, О.А. Трошичев)	192
8.3.1. Космическая радиация	193
8.3.2. Ионосфера и распространение радиоволн	202
8.3.3. Изменение орбит спутников	210
8.3.4. Геомагнитные возмущения и системы энергоснабжения и проводной связи	213
8.3.5. Воздействие солнечной активности на атмосферные процессы и климат	219
8.3.6. Гелиобиология	229
8.4. Прогноз гелиогеофизической обстановки (А.А. Петрукович, А.В. Белов, В.Н. Обридко)	235
8.4.1. Введение	235
8.4.2. История и сегодняшний день прогноза	236
8.4.3. Прогнозирование солнечной активности	238
8.4.4. Прогноз геомагнитной активности	243
8.4.5. Геомагнитный прогноз по солнечному ветру	248
8.4.6. Прогноз СКЛ	249
8.4.7. Перспективные методики прогноза	250
8.4.8. Достоверность прогноза	251
8.4.9. Выводы	252
8.5. Заключение (А.А. Петрукович)	252
8.6. Приложение. Ресурсы сети Интернет по солнечно-земной физике (А.А. Петрукович, А.Н. Зайцев)	253
Глава 9. Лабораторное моделирование, некоторые методы измерения и активные эксперименты (Под ред. А.Г. Франк)	258
Введение	258
9.1. Лабораторное моделирование: эволюция и динамика токовых слоев в плазме как основа вспышечных явлений (А.Г. Франк)	259
9.1.1. О лабораторном моделировании астрофизических явлений	259
9.1.2. Токовые слои и процессы магнитного пересоединения	261
9.1.3. Ранние эксперименты: токовые слои в 2D магнитных конфигурациях	262
9.1.4. Необходимость перехода к 3D магнитным конфигурациям	265
9.1.5. Токовые слои в 3D магнитных конфигурациях с нулевыми точками	266
9.1.6. Токовые слои в 3D магнитных конфигурациях с X линиями	268
9.1.7. Основные проявления вспышечных процессов в токовых слоях	272
9.1.8. Сопоставление лабораторных экспериментов по динамике токовых слоев и астрофизических явлений вспышечного типа	273
9.2. Лабораторное моделирование распространения низкочастотных волн в околоземной плазме (А.В. Костров, М.Е. Гуштин, С.В. Коробков, А.В. Стриковский)	275
9.2.1. Условия моделирования волновых явлений в лабораторной плазме: параметры подобия	276

9.2.2. Общая характеристика волн свистового диапазона частот	277
9.2.3. Проблемы лабораторного моделирования низкочастотных волновых процессов в околоземной плазме и требования, предъявляемые к плазменным установкам	278
9.2.4. Описание экспериментальной установки	280
9.2.5. Исследование распространения свистовых волн в неоднородных плазменных структурах	281
9.2.6. Волны свистового диапазона частот в плазме с нестационарным магнитным полем	284
9.2.7. Заключение	287
9.3. Моделирование коллективных процессов в магнитосферах планет и в солнечной короне (А.Г. Демехов)	287
9.3.1. Циклотронная неустойчивость свистовых волн в плазменных магнитных ловушках	288
9.3.2. Лабораторное моделирование других видов космических циклотронных мазеров	294
9.4. Лабораторное моделирование распространения электронного пучка в космической плазме (Д.М. Карфидов)	295
9.4.1. Электронные пучки в солнечной системе	295
9.4.2. Лабораторные эксперименты по распространению пучков в плазме	296
9.4.3. Релаксация размытого по скоростям электронного пучка в плазме	298
9.5. Антенная диагностика электромагнитных сигналов в плазме (Ю.В. Чугунов)	302
9.5.1. Расчет среднеквадратичной ЭДС, наводимой на антенне в неравновесной плазме	303
9.5.2. Расчет спектральной плотности шумовой ЭДС	304
9.5.3. Эффективная длина приемной антенны	307
9.6. Активные эксперименты для исследований геофизических явлений в околоземном космическом пространстве (Ю.И. Зецер, Б.Г. Гаврилов, Н.Ф. Благовещенская, А.Г. Демехов, В.Ю. Трахтенгерц)	312
9.6.1. Введение	312
9.6.2. Средства и методы изучения искусственных и естественных возмущений в атмосферно-ионосферно-магнитосферной системе в активных экспериментах	313
9.6.3. Активные исследования магнитосферно-ионосферных процессов, связанных с зарождением и эволюцией плазменных образований и их взаимодействием с фоновой средой и магнитным полем	319
9.6.4. Тепловое нелинейное взаимодействие мощных КВ-радиоволн с ионосферной плазмой	338
9.6.5. Триггерное ОНЧ-излучение	342
9.7. Инжекция струй электронов и плазмы в магнитосферу и ионосферу (А.И. Морозов)	345
9.7.1. Введение	345
9.7.2. Инжекция электронных пучков в магнитосферу	346
9.7.3. Инжекция в ионосферу и магнитосферу квазинейтральной энергичной плазмы	348
9.7.4. Эксперимент «Rogsciripe»	349
9.8. Радиофизические методы исследований и мониторинга ионосферы Земли (В.М. Смирнов)	351
Глава 10. Мелкодисперсные частицы и пылевая плазма в гелиогеофизике (С.И. Попель)	368
10.1. Введение	368
10.2. Пылевое облако в Солнечной системе	369
10.3. Пыль в магнитосфере Земли	371
10.4. Пыль в магнитосферах Юпитера и Сатурна	373
10.5. Заряженная пыль в ионосфере Земли	376

10.6. Наблюдательные проявления коллективных процессов в запыленной ионосфере	380
10.7. Заряженная пыль и ударно-волновые явления в Солнечной системе	384
10.8. Приповерхностная и атмосферная пыль. Шумановские резонансы	388
Заключение	390
Глава 11. Некоторые сведения по физике плазмы (Д. Р. Шкляр)	391
Список основных обозначений к гл. 11	391
11.1. Понятие плазмы	392
11.2. Методы описания плазмы.	393
11.2.1. Движение отдельных частиц	394
11.2.2. Кинетический подход Больцмана—Власова	395
11.2.3. Магнитная гидродинамика	398
11.3. Дебаевское экранирование	403
11.4. Линейные волновые процессы	405
11.4.1. Гидродинамические волны в холодной плазме	405
11.4.2. МГД-волны в плазме конечной температуры	406
11.4.3. Кинетическая теория	407
11.4.4. Затухание Ландау плазменных волн	424
11.4.5. Ионно-звуковые волны	428
11.4.6. Квазиэлектростатические волны в «теплой» плазме	429
11.4.7. Электростатические волны в горячей плазме	433
11.4.8. Резонансное взаимодействие электромагнитных волн и частиц в плазме	437
11.5. Нелинейные процессы в плазме.	444
11.5.1. Самофокусировка мощной высокочастотной волны в плазме	447
11.5.2. Модуляционная неустойчивость волновых пакетов в плазме	450
11.5.3. Уравнение Кортевега—де Вриза	452
11.5.4. Нелинейные эффекты при взаимодействии частиц с монохроматической волной конечной амплитуды	455
11.5.5. Квазилинейное приближение	460
11.5.6. Нелинейное взаимодействие волн	462
11.6. Движение заряженных частиц в сильном магнитном поле	466
11.6.1. Дипольное поле и дипольные координаты	466
11.6.2. Гамильтониан, уравнения движения и адиабатические инварианты	467
11.6.3. Скорость азимутального дрейфа	470
11.7. Механизмы ускорения частиц в плазме	470
11.7.1. Бетатронное ускорение	470
11.7.2. Ускорение Ферми	472
11.7.3. Резонансное ускорение частиц при их взаимодействии с электромагнитными волнами в неоднородной плазме	472
11.8. Неустойчивости плазмы	475
11.8.1. Кинетические неустойчивости	475
11.8.2. Гидродинамические неустойчивости	484
11.9. Магнитное пересоединение (Л. М. Зеленый, Х. В. Малова)	490
Список литературы	495
Предметный указатель	554