

А. КРЮГЕР

СОЛНЕЧНАЯ РАДИОАСТРОНОМИЯ И РАДИОФИЗИКА

ВВЕДЕНИЕ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

канд. физ.-мат. наук

В. Д. Новикова

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

д-ра физ.-мат. наук

В. В. Зайцева

38072

МОСКВА «МИР» 1984

УДК 523.9 + 52-77

К85

ББК 22.64

Крюгер А.

К 85 Солнечная радиоастрономия и радиофизика.

Введение: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984, — 469 с., ил.

Автор, крупный радиовооном из ГДР, на современном уровне изложил основные проблемы радиоизлучения Солнца, уделив внимание как методам и результатам наблюдений, так и теоретической интерпретации на основе физики плазмы. Радиоизлучение Солнца в значительной степени обусловлено различными проявлениями солнечной активности. Поэтому затронутые в книге проблемы непосредственно связаны с различными аспектами физики межпланетной среды и воздействиями Солнца на земные процессы.

Для астрономов, геофизиков, лиц, занимающихся физикой плазмы, физикой ионосферы, дальней и космической радиосвязью, метеорологов, аэрологов — специалистов и студентов старших курсов.

К 1705040000 — 441 84 — 84, ч. 1
041(01) — 84

ББК 22.64
525

*Редакция литературы по космическим исследованиям,
астрономии и геофизике*



© 1979 by D.Reidel Publishing
Company, Dordrecht, Holland

© Перевод на русский язык с
авторскими изменениями и
дополнениями, "Мир", 1984

Оглавление

От редактора перевода	5
Предисловие к русскому изданию	7
Предисловие	8
Глава I . ВВЕДЕНИЕ	11
1.1. Краткая история солнечной радиоастрономии	11
1.2. Общие представления о Солнце	13
1.2.1. Солнце как источник радиоизлучения	13
1.2.2. Солнечная атмосфера	15
1.2.3. Солнечная активность	19
1.3. Некоторые астрономические постоянные	28
1.3.1. Расстояние Солнце – Земля	28
1.3.2. Системы координат	28
Глава II . ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	32
2.1. Принципы радионаблюдений	32
2.1.1. Спектр электромагнитного излучения и атмосферное радиоокно	32
2.1.2. Единицы измерения излучения	34
2.2. Антенны радиотелескопов	37
2.2.1. Основные параметры антенн	37
2.2.2. Основные типы антенных систем	41
2.3. Радиоастрономические приемники	48
2.3.1. Основные параметры приемников	48
2.3.2. Основные типы приемников	50
2.4. Поляризационные измерения	53
2.4.1. Основные свойства поляризованного излучения	53
2.4.2. Поляриметры	56
2.5. Эксперименты по абсолютной калибровке	58
2.5.1. Общие принципы	58
2.5.2. Стандартные радиометры и методы стандартного поля	59
2.6. Спектрография	61
2.6.1. Спектрографы с разверткой частоты	61
2.6.2. Многоканальные спектрографы	61
2.7. Интерферометры и гелиографы	64
2.7.1. Двухэлементные /суммирующие/ интерферометры	65
2.7.2. Интерферометры с переключением фазы /умножающие/	68
2.7.3. Корреляционный интерферометр	69
2.7.4. Интерферометры со сканированием лепестка	69
2.7.5. Специальные устройства	70
2.7.6. Одномерные многоэлементные интерферометры /антенные решетки/	72
2.7.7. Компаунд-интерферометры	73
2.7.8. Крестообразные интерферометры	74

2.7.9. Гелиографы	75
2.8. Методы апертурного синтеза	78
2.8.1. Общий принцип	78
Глава III. ФЕНОМЕНОЛОГИЯ СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ	79
3.1. Спокойное Солнце	80
3.1.1. Общие замечания	80
3.1.2. Спектр	81
3.1.3. Распределение яркости	84
3.1.4. Модельные расчеты	86
3.1.5. Основной компонент солнечного радиоизлучения	88
3.1.6. Исследование внешней короны	89
3.1.7. Солнечное излучение в линиях	90
3.2. Медленно меняющийся компонент	90
3.2.1. Общие замечания	90
3.2.2. Характеристики полного потока	92
3.2.3. Области источников	94
3.2.4. Связь с рентгеновским излучением и другими явлениями	100
3.2.5. Квазипериодические колебания	101
3.2.6. Крупномасштабные структуры	103
3.3. Солнечные радиовсплески с непрерывным спектром . А. Микроволновые всплески	105
3.3.1. Общие замечания	105
3.3.2. Морфология	106
3.3.3. Спектральные характеристики	111
3.3.4. Поляризация и структура источника	113
3.3.5. Связь с другими явлениями и моделями	115
3.4. Быстро дрейфующие всплески	117
3.4.1. Основные свойства	117
3.4.2. Формы всплесков III типа /грубая структура/	118
3.4.3. Излучение с тонкой структурой	122
3.4.4. Характеристики стандартных всплесков III типа, регистрируемые при наземных наблюдениях	126
3.4.5. Космические наблюдения	129
3.4.6. Интерпретация	140
3.5. Медленно дрейфующие всплески	146
3.5.1. Основные наблюдаемые характеристики	146
3.5.2. Особенности спектра	151
3.5.3. Интерпретация	155
3.6. Всплески континуума Б. Комплекс всплесков IV типа	158
3.6.1. Вводные замечания	158
3.6.2. Сантиметровый и дециметровый диапазоны	163
3.6.3. Метровый и декаметровый диапазоны	165
3.6.4. Модели всплесков IV типа	172
3.7. Шумовые бури	174
3.7.1. Явление в целом	174
3.7.2. Шумовые континуумы	177

3.7.3. Всплески I типа	181
3.7.4. Бури III типа	188
3.8. Солнечные радиопульсации	193
3.8.1. Общие характеристики	193
3.8.2. Периодичность в излучении сантиметровых и дециметровых всплесков	195
3.8.3. Тонкая структура и короткопериодические флуктуации излучения всплесков IV типа	198
3.8.4. Среднепериодные флуктуации во всплесках IV мВ типа и шумовых бурях	204
3.8.5. Интерпретация	204
3.9. Сводка	207
Глава IV. ТЕОРИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА	211
4.1. Основные свойства солнечной атмосферы как плазменной среды ..	211
4.1.1. Сводка важнейших параметров плазмы	211
4.1.2. Концентрация и температура	213
4.1.3. Магнитное поле	217
4.1.4. Характерные времена и параметры переноса	223
4.2. Основы излучения и распространения радиоволн	225
4.2.1. Элементарные процессы при генерации радиоизлучения	225
4.2.2. Основные теоретические результаты	236
4.2.3. Поляризованное излучение в плазме	237
4.2.4. Распространение радиоволн	244
4.3. Одночастичное приближение: прямые механизмы радиоизлучения ..	257
4.3.1. Кулоновское тормозное излучение	257
4.3.2. Магнитотормозное излучение	263
4.3.3. Изменения излучения во времени	274
4.4. Приближение холодной плазмы; некоторые аспекты синхротронного и черенковского излучений	276
4.4.1. Магнитоионная теория	276
4.4.2. Синхротронное излучение	277
4.4.3. Эффект Черенкова	287
4.5. Процессы в горячей плазме: гирорезонансное поглощение и плазменные волны	290
4.5.1. Кинетическая теория	290
4.5.2. Электромагнитное гирорезонансное поглощение	292
4.5.3. Основные аспекты излучений в турбулентной плазме	296
4.5.4. Продольные плазменные волны	298
4.5.5. Магнитогидродинамические волны	301
4.5.6. Сводка типов волн в горячей плазме	304
4.6. Трансформация волн: взаимодействия волна — частица и волна — волна	306
4.6.1. Процессы рассеяния и взаимодействие волн	306
4.6.2. Общее описание взаимодействий волн различных типов	309
4.6.3. Некоторые возможные приложения к солнечной радиовастроно- мии	311

4.7. Неустойчивости и когерентное излучение	313
4.7.1. Общие представления	313
4.7.2. Классификация плазменных неустойчивостей	314
4.7.3. Некоторые важные неустойчивости	316
4.7.4. Усиление электромагнитных волн	319
Глава V. МЕСТО РАДИОАСТРОНОМИИ В СОЛНЕЧНОЙ И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКЕ	323
5.1. Оценки параметров солнечной плазмы	326
5.1.1. Концентрация частиц и магнитное поле	326
5.1.2. Запас энергии	328
5.2. Вспышки	332
5.2.1. Низкотемпературная вспышка	332
5.2.2. Высокотемпературная вспышка	335
5.2.3. Высокоэнергичная вспышка	337
5.3. Ускорение частиц и высвобождение энергии	343
5.3.1. Механизмы ускорения	343
5.3.2. Высвобождение энергии при различных типах плазменной турбулентности	347
5.3.3. Связь между спектрами энергий электронов и излучаемых фотонов	349
5.4. Испускание частиц и радиоизлучение	350
5.4.1. Солнечный ветер	350
5.4.2. Всплески электронов	353
5.4.3. Протонные события	356
5.5. Ударные волны и магнитосферные возмущения	358
5.5.1. Межпланетные ударные волны, генерируемые вспышками	358
5.5.2. Аналогии между солнечными и магнитосферными процессами	359
5.6. Происхождение всплесков и теории вспышек	361
5.6.1. Основные проблемы	361
5.6.2. Возможные источники энергии вспышки	363
5.6.3. Выделение энергии на гидродинамической стадии вспышки	366
5.6.4. Кинетические стадии выделения энергии вспышки	371
5.6.5. Итоги и перспективы	372
Литература	377
Список обозначений	460

Альбрехт Крюгер

СОЛНЕЧНАЯ РАДИОАСТРОНОМИЯ И РАДИОФИЗИКА

Введение

Ст. научный редактор *М. Рутковская*

Художник *А. Шкловская*

Художественный редактор *В. Шеловалов*

Технические редакторы *Л. Тихомирова, Т. Алюпина*

Корректоры *И. Холкина, Т. Луганова*

ИБ № 3629

Подписано к печати 2.10.84

Формат 60 x 90/16.

Бумага офсетная № 1.

Гарнитура таймс. Печать офсетная. Объем 14,75 бум. л.

Усл. печ. л. 29,50. Усл. кр.-отт. 29,50.

Уч.-изд. л. 27,78. Изд. № 27/2629.

Тираж 1350 экз. Зак. 644. Цена 4 р. 50 к.

Набрано в издательстве «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

129820, ГСП Москва, 1-я Рижский пер., 2.

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР

по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.

300600, Тула, проспект им. В. Л. Ленина, 109.