

Theory of Edge Diffraction in Electromagnetics

Pyotr Yakovlevich Ufimtsev

University of California at Irvine and
University of California at Los Angeles

Edited by **Andrew J. Terzuoli, Jr.**

Air Force Institute of Technology (AFIT)

Translated by **Richard D. Moore**

(Formerly with USAF Foreign Technology Division)

Tech Science Press

Encino, California

П. Я. Уфимцев

ТЕОРИЯ

дифракционных
краевых волн
в электродинамике

Перевод с английского
А. В. Капцова



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний
2007

УДК 537.811+621.371.334
ББК 22.336
У88

Уфимцев П. Я.

У88 Теория дифракционных краевых волн в электродинамике /
П. Я. Уфимцев; Пер. с англ.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний,
2007.— 366 с.: ил.

ISBN 978-5-94774-621-1 (русск.)

ISBN 0-9657001-7-8 (англ.)

В книге изучается дифракция электромагнитных волн на телах, больших по сравнению с длиной волны. Развиваются приближенные и строгие методы исследования. Полученные результаты проливают свет на природу таких явлений, как дифракция Френеля, теневое излучение, деполяризация обратного рассеяния, процесс формирования краевых волн и т. д.

Книга предназначена для радиофизиков и радиоинженеров, а также для преподавателей вузов, аспирантов и студентов при изучении антенн, дифракции радиоволн и стелс-технологии по созданию объектов, невидимых для радаров.

УДК 537.811+621.371.334
ББК 22.336



Перевод книги и ее издание выполнены при финансовой поддержке РФФИ
в рамках издательского проекта № 05-02-30003

Научное издание

Уфимцев Петр Яковлевич

ТЕОРИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ КРАЕВЫХ ВОЛН В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Ведущий редактор *Б. И. Копылов*

Художник *Н. В. Зотова*

Художественный редактор *О. Г. Ланко*

Оригинал-макет подготовлен *А. В. Капцовым* в пакете $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$

Подписано в печать 19.10.06. Формат 70×100/16.

Гарнитура Computer Modern. Печать офсетная. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 29,9. Тираж 400 экз. Заказ 5899

БИНОМ. Лаборатория знаний

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон (495) 157-5272, e-mail: Lbz@aha.ru, <http://www.Lbz.ru>

При участии ООО «ПФ «Сашко»

Отпечатано в ОАО «ИПК «Ульяновский Дом печати»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

ISBN 978-5-94774-621-1 (русск.)
ISBN 0-9657001-7-8 (англ.)

© 2003 by Tech Science Press
© Перевод на русский язык,
БИНОМ. Лаборатория знаний,
2007

Оглавление

Предисловие редактора перевода	9
Предисловие автора к русскому изданию	10
Предисловие	13
Предисловие редактора американского издания	19
Комментарии к американскому изданию	21
Благодарности	23
Введение	24
Краткий обзор литературы по теории краевых волн	27
1. Дифракция электромагнитных волн на черных телах: обобщение теории Кирхгофа—Котлера	33
§ 1.1. Черные тела	33
§ 1.2. Векторный аналог теорем Гельмгольца	34
§ 1.3. Определение черного тела и теорема о теневом контуре	36
§ 1.4. Принцип дополнительности для тонких экранов	41
§ 1.5. Интегральный поперечник рассеяния для черных тел	42
§ 1.6. Черная полуплоскость	43
§ 1.7. Черная лента и черный диск	48
§ 1.8. Физическая модель черного тела	55
§ 1.9. Наблюдение М. Л. Левина	57
§ 1.10. Основные свойства поля, рассеянного черными телами	59
2. Дифракция на выпуклых идеально проводящих телах: элементы физической теории дифракции	61
§ 2.1. Равномерные и неравномерные токи	61
§ 2.2. Краевые волны поля, рассеянного клином	63
§ 2.3. Поле, рассеянное круговым изломом	70
§ 2.4. Конусы	75
§ 2.5. Параболоиды вращения	83
§ 2.6. Сферические поверхности	87
§ 2.7. Дополнительные замечания	91
3. Дифракция на вогнутых телах: обобщение физической теории дифракции	93
§ 3.1. Поле внутри клиновидного рупора	93

§ 3.2.	Дифракция на круговом изломе вогнутой поверхности рассеяния	102
§ 3.3.	Поле в отраженной конической волне	104
§ 3.4.	Эффективная поверхность рассеяния конического тела	106
§ 3.5.	Результаты численных расчетов эффективной поверхности рассеяния	111
§ 3.6.	Дополнительные замечания	114
4.	Измерение поля, излучаемого дифракционными токами	115
§ 4.1.	Обратное рассеяние волн с круговой поляризацией	115
§ 4.2.	Деполаризация отраженной волны	122
§ 4.3.	Основные результаты	125
5.	Исследование дифракции на клине методом параболического уравнения	127
§ 5.1.	Параболическое уравнение	127
§ 5.2.	Постановка задачи	128
§ 5.3.	Решение параболического уравнения	130
§ 5.4.	Асимптотическое разложение для функции $w(r, \psi)$	134
§ 5.5.	Метод отражений	137
§ 5.6.	Поперечная диффузия и дифракция цилиндрических волн на клине	139
§ 5.7.	Дополнительные замечания	141
6.	Волны тока в тонких проводниках и на ленте	143
§ 6.1.	Бесконечный проводник, возбуждаемый сосредоточенной э.д.с.	144
§ 6.2.	Передающий вибратор	147
§ 6.3.	Полубесконечный проводник, возбуждаемый плоской волной	149
§ 6.4.	Пассивный вибратор	154
§ 6.5.	Ближнее поле	159
§ 6.6.	Волны тока на ленте	161
§ 6.7.	Основные результаты	165
§ 6.8.	Дополнительные замечания	166
7.	Излучение краевых волн: теория, основанная на теореме взаимности	167
§ 7.1.	Вычисление поля в дальней зоне	167
§ 7.2.	Излучение передающего вибратора	168
§ 7.3.	Первичная и вторичная дифракция на пассивном вибраторе	170
§ 7.4.	Множественная дифракция краевых волн	177
§ 7.5.	Полное рассеянное поле	180
§ 7.6.	Вибратор, короткий по сравнению с длиной волны (пассивный диполь)	185
§ 7.7.	Результаты численных расчетов	187
§ 7.8.	Излучение краевых волн на ленте	191
§ 7.9.	Заклучение	195
8.	Функциональные и интегральные уравнения в теории дифрак- ции плоской волны на ленте (граничная задача Неймана)	197
§ 8.1.	Об асимптотических решениях задачи о дифракции на ленте	197

§ 8.2.	Симметрия краевых волн	198
§ 8.3.	Формулировка и решение функциональных уравнений	201
§ 8.4.	Характеристика рассеяния и уравнение краевых волн	204
§ 8.5.	Ряд последовательных приближений для тока и их свойства	207
§ 8.6.	Сходимость бесконечных рядов для тока	210
§ 8.7.	Интегральное уравнение для тока и решение Шварцшильда	214
8.7.1.	Интегральное уравнение, вытекающее из решения функциональных уравнений (8.3.10)	214
8.7.2.	Интегральное уравнение, которое является следствием решения Шварцшильда	215
8.7.3.	Эквивалентность ядер $K(x, z)$ и $\bar{K}(x, z)$	217
§ 8.8.	Преобразование формулы (8.5.2) в (8.5.10)	220
9.	Асимптотическое представление для плотности тока на ленте	223
§ 9.1.	Леммы об асимптотических разложениях для многократных интегралов	223
§ 9.2.	Асимптотические ряды для функций χ_n	228
§ 9.3.	Оценки для функций $\varphi_q^{(m)}(q, \alpha)$, $\varphi(kz, 1)$ и $\hat{\varphi}_m(kz)$	230
§ 9.4.	Асимптотические представления для функций χ_n	232
§ 9.5.	Первое приближение для тока	235
§ 9.6.	N -е приближение для тока	237
9.6.1.	Вывод приближенной формулы	237
9.6.2.	Проверка краевых условий	238
9.6.3.	Оценка погрешности	239
10.	Асимптотические представления для диаграммы рассеяния	241
§ 10.1.	Точное выражение для характеристики рассеяния и некоторые свойства функций $\varphi_n(\alpha, \alpha_0)$	241
§ 10.2.	Асимптотические представления для функций $\varphi_n(\alpha, \alpha_0)$	244
10.2.1.	Асимптотические ряды для функций $\varphi_n(\alpha, \alpha_0)$	244
10.2.2.	Оценка функции $U_{n,2}(\alpha, \alpha_0)$	247
10.2.3.	Асимптотическое представление для $\varphi_{n+m}(\alpha, \alpha_0)$	248
§ 10.3.	Первое приближение для диаграммы рассеяния	249
§ 10.4.	N -е приближение для диаграммы рассеяния	254
10.4.1.	Вывод приближенной формулы	254
10.4.2.	Проверка граничных условий	255
10.4.3.	Оценка погрешности	255
10.4.4.	Интегральный поперечник рассеяния	256
§ 10.5.	Зависимость между приближенными выражениями для тока и диаграммы рассеяния	258
§ 10.6.	Дополнительные замечания	262
11.	Дифракция плоской волны на ленте, ориентированной в направлении поляризации (граничная задача Дирихле)	263
§ 11.1.	Формулировка и решение функциональных уравнений	263
§ 11.2.	Диаграмма рассеяния и уравнение краевых волн	265
§ 11.3.	Ряд последовательных приближений и интегральное уравнение для тока	267

11.3.1. Ряд по функциям $\xi_n(z, \alpha_0)$ и некоторые свойства этих функций	267
11.3.2. Интегральное уравнение для тока	269
§ 11.4. Асимптотические представления для функций $\xi_n(z, \alpha)$	270
§ 11.5. Первое приближение для тока	275
§ 11.6. N -е приближение для тока	276
§ 11.7. Ряд по функциям $\psi_n(\alpha, \alpha_0)$ для диаграммы рассеяния	277
§ 11.8. Асимптотические представления функций $\psi_n(\alpha, \alpha_0)$	278
§ 11.9. Первое приближение для диаграммы рассеяния	281
§ 11.10. N -е приближение для диаграммы рассеяния	284
§ 11.11. Зависимость между приближенными выражениями для тока и диаграммы рассеяния	288
§ 11.12. Основные результаты математической теории краевых волн	290
12. Дифракция на открытом резонаторе, образованном параллельными лентами	291
§ 12.1. Вывод основных функциональных уравнений	292
§ 12.2. Формулировка и решение функциональных уравнений для краевых волн	295
§ 12.3. Строгие выражения для рассеянного поля в дальней зоне и внутри резонатора	300
§ 12.4. О физическом смысле и асимптотических разложениях для функции $F_n(w, u)$	305
§ 12.5. Приближенные выражения для диаграмм рассеяния и амплитуд краевых волн	309
§ 12.6. Резонансная часть поля внутри резонатора	316
§ 12.7. Излучение из открытого резонатора	320
§ 12.8. Результаты численных расчетов	329
§ 12.9. Основные результаты	333
§ 12.10. Дополнительные замечания	334
Заключение	335
Список литературы	338
Приложение. Связь между системой единиц СГС и СИ	355
Предметный указатель	361