

---

# Fundamentals of the Physical Theory of Diffraction

---

Pyotr Ya. Ufimtsev



WILEY-INTERSCIENCE  
A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION

П. Я. Уфимцев

---

# ОСНОВЫ физической теории дифракции

---

Авторский перевод с английского  
П. Я. Уфимцева



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2009

УДК 535  
ББК 22.343  
У88

**Уфимцев П. Я.**

У88      **Основы физической теории дифракции / П. Я. Уфимцев ; пер. с англ. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 350 с. : ил. (Физика).**

ISBN 978-5-94774-919-9 (русск.)

ISBN 978-0-470-09771-X (англ.)

В книге изучается дифракция акустических и электромагнитных волн на телах, больших по сравнению с длиной волны. Развита в ней асимптотическая теория может быть полезна при решении разнообразных дифракционных задач, возникающих, например, в таких областях техники, как проектирование микроволновых антенн, конструирование акустических барьеров для снижения уровня шумов, мобильная и спутниковая радиосвязь, стелс-технология по созданию объектов, невидимых для радаров и сонаров.

Для научных сотрудников, преподавателей вузов, аспирантов и студентов старших курсов, изучающих дифракционные явления в таких дисциплинах, как акустика, оптика, радиофизика, математическая физика и т. д.

УДК 535  
ББК 22.343

По вопросам приобретения обращаться:

**«БИНОМ. Лаборатория знаний» (499) 157-52-72, e-mail: [binom@Lbz.ru](mailto:binom@Lbz.ru)  
<http://www.Lbz.ru>**

ISBN 978-5-94774-919-9 (русск.)  
ISBN 978-0-470-09771-X (англ.)

Copyright © 2007 by John Wiley & Sons, Inc.  
All Rights Reserved. This translation  
published under license.  
© Перевод на русский язык,  
БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009

# Оглавление

<b>Предисловие</b> . . . . .	<b>10</b>
<b>Предисловие автора к американскому изданию.</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>Благодарности</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>Введение.</b> . . . . .	<b>18</b>
<b>Глава 1. Основные понятия в теории дифракции акустических и электромагнитных волн</b> . . . . .	<b>23</b>
1.1. Формулировка дифракционных задач . . . . .	23
1.2. Рассеянное поле в дальней зоне . . . . .	25
1.3. Физическая оптика. . . . .	29
1.3.1. Определение физической оптики . . . . .	29
1.3.2. Полный поперечник рассеяния . . . . .	32
1.3.3. Оптическая теорема . . . . .	33
1.3.4. Теневое излучение . . . . .	34
1.3.5. Теорема о теневом контуре и полный поперечник рассеяния .	39
1.3.6. Перечень свойств физической оптики . . . . .	42
1.4. Неравномерная компонента поверхностного поля . . . . .	43
1.5. Электромагнитные волны. . . . .	46
Задачи . . . . .	50
<b>Глава 2. Дифракция на клине: точное решение и асимптотики</b> . . . . .	<b>53</b>
2.1. Классические решения . . . . .	53
2.2. Возбуждение плоской волной . . . . .	58
2.3. Преобразование рядов в интегралы Зоммерфельда . . . . .	60
2.4. Лучевые асимптотики Зоммерфельда . . . . .	65
2.5. Асимптотики Паули . . . . .	67
2.6. Равномерные асимптотики: обобщение метода Паули . . . . .	72
2.7. Комментарии к альтернативным асимптотикам. . . . .	76
Задачи . . . . .	77
<b>Глава 3. Дифракция на клине: приближение физической оптики</b> . . . . .	<b>80</b>
3.1. Исходные интегралы физической оптики. . . . .	80
3.2. Преобразование интегралов ФО в каноническую форму. . . . .	83

3.3. Лучевые асимптотики для дифракционного поля в приближении ФО . . . . .	87
Задачи . . . . .	89
<b>Глава 4. Дифракция на клине: поле, излучаемое неравномерной компонентой поверхностных источников . . . . .</b>	<b>90</b>
4.1. Интегралы и асимптотики. . . . .	90
4.2. Интегральная форма функций $f^{(1)}$ и $g^{(1)}$ . . . . .	95
4.3. Наклонное падение плоской волны на клин . . . . .	97
4.3.1. Акустические волны . . . . .	97
4.3.2. Поляризационная связь электромагнитных волн . . . . .	101
Задачи . . . . .	104
<b>Глава 5. Первичная дифракция на лентах и полигональных цилиндрах . . . . .</b>	<b>105</b>
5.1. Дифракция на ленте . . . . .	105
5.1.1. Приближение физической оптики для рассеянного поля . . . . .	106
5.1.2. Полное рассеянное поле . . . . .	109
5.1.3. Численный анализ рассеянного поля . . . . .	113
5.1.4. ФТД первого порядка с усеченными источниками $j_h^{(1)}$ . . . . .	116
5.2. Дифракция на трехгранном цилиндре . . . . .	121
5.2.1. Симметричное рассеяние: приближение ФО . . . . .	121
5.2.2. Обратное рассеяние: приближение ФО . . . . .	124
5.2.3. Симметричное рассеяние: ФТД первого порядка . . . . .	126
5.2.4. Обратное рассеяние: ФТД первого порядка . . . . .	129
5.2.5. Численный анализ рассеянного поля . . . . .	131
Задачи . . . . .	133
<b>Глава 6. Осесимметричное рассеяние акустических волн на телах вращения . . . . .</b>	<b>137</b>
6.1. Дифракция на канонической конической поверхности . . . . .	137
6.1.1. Интегралы для рассеянного поля. . . . .	138
6.1.2. Лучевые асимптотики. . . . .	140
6.1.3. Фокусировка краевых волн . . . . .	146
6.1.4. Интерполяция для поля $u_{s,h}^{(1)}$ с помощью функций Бесселя . . . . .	148
6.2. Рассеяние на диске . . . . .	149
6.2.1. Приближение физической оптики . . . . .	150
6.2.2. Поле, излучаемое неравномерными поверхностными источниками . . . . .	152
6.2.3. Полное рассеянное поле . . . . .	154
6.3. Рассеяние на конусах: поле на фокальной линии . . . . .	156
6.3.1. Асимптотики . . . . .	156
6.3.2. Численный анализ обратного рассеяния. . . . .	160
6.4. Тела вращения с ненулевой гауссовой кривизной: обратное рассеяние . . . . .	163

6.4.1. Приближение ФО . . . . .	164
6.4.2. Обратное рассеяние. Поле на фокальной линии: ФТД первого порядка . . . . .	166
6.4.3. Обратное рассеяние от параболоидов . . . . .	167
6.4.4. Обратное рассеяние от сферических сегментов. . . . .	172
6.5. Тела вращения с ненулевой гауссовой кривизной: осесимметричное бистатистическое рассеяние . . . . .	175
6.5.1. Лучевые асимптотики для поля в приближении ФО . . . . .	177
6.5.2. Приближение ФО: интерполяция с функциями Бесселя для поля в области $\pi - \omega \leq \vartheta \leq \pi$ . . . . .	180
6.5.3. Приближение ФТД: интерполяция с функциями Бесселя для поля в области $\pi - \omega \leq \vartheta \leq \pi$ . . . . .	181
6.5.4. ФТД-асимптотики для поля в области $2\omega \leq \vartheta \leq \pi - \omega$ вдали от геометрооптической границы $\vartheta = 2\omega$ . . . . .	182
6.5.5. Равномерные асимптотики для поля ФО в лучевой области $2\omega < \vartheta \leq \pi - \omega$ , включая ее границу $\vartheta = 2\omega$ . . . . .	182
6.5.6. Аппроксимация ФО-поля в области тени для отраженных лучей . . . . .	186
Задачи . . . . .	187
<b>Глава 7. Элементарные акустические и электромагнитные краевые волны . . . . .</b>	<b>189</b>
7.1. Элементарные полосы на каноническом клине . . . . .	190
7.2. Интегральные представления для неравномерных компонент поверхностных источников $j_{s,h}^{(1)}$ . . . . .	192
7.3. Трехкратные интегралы для элементарных краевых волн . . . . .	195
7.4. Преобразование трехкратных интегралов в однократные. . . . .	198
7.5. Асимптотики для элементарных краевых волн . . . . .	203
7.6. Аналитические свойства элементарных краевых волн . . . . .	207
7.7. Численные расчеты элементарных краевых волн . . . . .	211
7.8. Электромагнитные элементарные краевые волны . . . . .	214
7.9. Устранение сингулярностей при скользящих направлениях $\varphi_0 = \pi$ и $\varphi_0 = \alpha - \pi$ . . . . .	218
7.9.1. Акустические волны . . . . .	219
7.9.2. Электромагнитные ЭКВ . . . . .	224
7.10. Некоторые публикации других авторов, имеющие отношение к элементарным краевым волнам . . . . .	229
Задачи . . . . .	230
<b>Глава 8. Лучевые и каустические асимптотики для краевых дифракционных волн . . . . .</b>	<b>234</b>
8.1. Лучевые асимптотики . . . . .	234
8.1.1. Акустические волны . . . . .	234
8.1.2. Электромагнитные волны. . . . .	239
8.1.3. Комментарии к лучевым асимптотикам . . . . .	240

8.2. Каустические асимптотики . . . . .	242
8.2.1 Акустические волны . . . . .	242
8.2.2. Электромагнитные волны. . . . .	246
Задачи . . . . .	248
<b>Глава 9. Многократная дифракция краевых волн: скользящее падение и дифракция волн с нулем диаграммы направленности (<i>slope diffraction</i>). . . . .</b>	<b>250</b>
9.1. Постановка задачи и библиография. . . . .	250
9.2. Дифракция скользящих волн . . . . .	251
9.2.1. Акустические волны . . . . .	252
9.2.2. Электромагнитные волны. . . . .	256
9.3. Дифракция волн с нулем диаграммы направленности ( <i>slope diffraction</i> ) . . . . .	257
9.3.1. Акустические волны . . . . .	257
9.3.2. Электромагнитные волны. . . . .	260
9.4. Дифракция волн с нулем диаграммы направленности: общий случай <i>slope diffraction</i> . . . . .	261
9.4.1. Акустические волны . . . . .	261
9.4.2. Электромагнитные волны. . . . .	264
Задачи . . . . .	267
<b>Глава 10. Дифракционное взаимодействие краев на линейчатой поверхности . . . . .</b>	<b>268</b>
10.1. Дифракция на акустически жесткой поверхности . . . . .	269
10.2. Дифракция на акустически мягкой поверхности . . . . .	271
10.3. Дифракция электромагнитных волн . . . . .	273
Задачи . . . . .	275
<b>Глава 11. Фокусировка многократных краевых волн при дифракции на выпуклых телах вращения с плоским торцом . . . . .</b>	<b>276</b>
11.1. Постановка задачи и ее характерные черты. . . . .	276
11.2. Многократная дифракция на акустически жестком теле. . . . .	278
11.3. Многократная дифракция на акустически мягком теле . . . . .	279
Задачи . . . . .	281
<b>Глава 12. Фокусировка многократных краевых волн при дифракции на диске . . . . .</b>	<b>282</b>
12.1. Многократная дифракция на акустически жестком диске . . . . .	282
12.2. Многократная дифракция на акустически мягком диске . . . . .	285
12.3. Многократная дифракция электромагнитных волн . . . . .	289
Задачи . . . . .	290
<b>Глава 13. Обратное рассеяние на цилиндре конечной длины . . . . .</b>	<b>291</b>
13.1. Акустические волны . . . . .	291
13.1.1. Приближение физической оптики . . . . .	291

13.1.2. Поле, создаваемое неравномерной компонентой $j^{(1)}$ . . . . .	295
13.1.3. Полное рассеянное поле . . . . .	299
13.2. Электромагнитные волны . . . . .	301
13.2.1. $E$ -поляризация . . . . .	301
13.2.2. $H$ -поляризация . . . . .	305
Задачи . . . . .	307
<b>Глава 14. Бистатистическое рассеяние на цилиндре конечной длины . . . . .</b>	<b>309</b>
14.1. Акустические волны . . . . .	309
14.1.1. Приближение физической оптики . . . . .	310
14.1.2. Теневое излучение как компонента рассеянного поля . . . . .	313
14.1.3. ФТД для поля, рассеянного жестким цилиндром . . . . .	314
14.1.4. Пучки и лучи в рассеянном поле . . . . .	318
14.1.5. Уточненные асимптотики для пучка, зеркально отраженного от цилиндрической поверхности. . . . .	321
14.2. Электромагнитные волны . . . . .	325
14.2.1. $E$ - поляризация . . . . .	325
14.2.2. $H$ -поляризация . . . . .	327
14.2.3. Уточненные асимптотики для пучка, зеркально отраженного от цилиндрической поверхности . . . . .	329
Задачи . . . . .	332
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>335</b>
<b>Литература . . . . .</b>	<b>336</b>
<b>Предметный указатель. . . . .</b>	<b>346</b>