

П. Я. Уфимцев

---

# ОСНОВЫ физической теории дифракции

---

Авторский перевод с английского  
П. Я. Уфимцева

5-е издание, электронное



Москва  
Лаборатория знаний  
2025

УДК 535  
ББК 22.343  
У88

**Уфимцев П. Я.**

У88 Основы физической теории дифракции / П. Я. Уфимцев ; пер. с англ. — 5-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2025. — 353 с. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-806-7

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

**Деривативное издание на основе печатного аналога:** Основы физической теории дифракции / П. Я. Уфимцев ; пер. с англ. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 350 с. : ил. — ISBN 978-5-94774-919-9.

**В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации**

Copyright © 2007 by John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved. This EBook is published under license with the original publisher John Wiley & Sons, Ltd.

© Перевод на русский язык, Лаборатория знаний, 2015

ISBN 978-5-93208-806-7

# 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<br/>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<br>в приближении ФО . . . . .  | 87         |
| Задачи . . . . .  | 89         |
| <b>Глава 4. Дифракция на клине: поле, излучаемое неравномерной<br/>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<br/>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<br/>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<br>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<br>рассеяние . . . . .                                   | 163        |

|  |     |
|--|-----|
| 6.4.1. Приближение ФО . . . . .  | 164 |
| 6.4.2. Обратное рассеяние. Поле на фокальной линии:<br>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<br>бистатистическое рассеяние . . . . .  | 175 |
| 6.5.1. Лучевые асимптотики для поля в приближении ФО . . . . .   | 177 |
| 6.5.2. Приближение ФО: интерполяция с функциями Бесселя<br>для поля в области $\pi - \omega \leq \vartheta \leq \pi$ . . . . .                               | 180 |
| 6.5.3. Приближение ФТД: интерполяция с функциями Бесселя<br>для поля в области $\pi - \omega \leq \vartheta \leq \pi$ . . . . .                              | 181 |
| 6.5.4. ФТД-асимптотики для поля в области $2\omega \leq \vartheta \leq \pi - \omega$<br>вдали от геометрооптической границы $\vartheta = 2\omega$ . . . . .  | 182 |
| 6.5.5. Равномерные асимптотики для поля ФО в лучевой области<br>$2\omega < \vartheta \leq \pi - \omega$ , включая ее границу $\vartheta = 2\omega$ . . . . . | 182 |
| 6.5.6. Аппроксимация ФО-поля в области тени для отраженных<br>лучей . . . . .  | 186 |
| Задачи . . . . .   | 187 |

## Глава 7. Элементарные акустические и электромагнитные краевые волны . . . . .

|  |     |
|--|-----|
| 7.1. Элементарные полоски на каноническом клине . . . . .  | 190 |
| 7.2. Интегральные представления для неравномерных компонент<br>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<br>$\varphi_0 = \pi$ 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<br>к элементарным краевым волнам . . . . .                | 229 |
| Задачи . . . . .   | 230 |

## Глава 8. Лучевые и каустические асимптотики для краевых дифракционных волн . . . . .

|   |     |
|---|-----|
| 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. Бистатическое 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<br>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<br>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> |