

М.БОРН, Э.ВОЛЬФ

ОСНОВЫ  
ОПТИКИ

# PRINCIPLES OF OPTICS

Electromagnetic Theory of Propagation,  
Interference and Diffraction of Light

*by*

MAX BORN

M. A., Dr. Phil., F. R. S.

Nobel Laureate

*Professor Emeritus at the Universities of Göttingen and Edinburgh*

*and*

EMIL WOLF

Ph. D., D. Sc.

*Professor of Physics, University of Rochester, N. Y.*

*with contributions by*

A. B. Bhatia, P. C. Clemmow, D. Gabor, A. R. Stokes,  
A. M. Taylor, P. A. Wayman and W. L. Wilcock

FOURTH EDITION

PERGAMON PRESS

OXFORD · LONDON · EDINBURGH · NEW YORK  
PARIS · FRANKFURT

1968

М. БОРН, Э. ВОЛЬФ

# ОСНОВЫ ОПТИКИ

ИЗДАНИЕ 2-е, ИСПРАВЛЕННОЕ

Перевод с английского

*С. Н. БРЕУСА, А. И. ГОЛОВАШКИНА, А. А. ШУБИНА*

Под редакцией

*Г. П. МОТУЛЕВИЧ*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1973

**Основы оптики.** Борн М., Вольф Э., изд. 2-е. Перевод с английского. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973.

Наиболее полный и авторитетный труд по оптике в мировой литературе, учитывающий все последние достижения классической теории.

Излагаются макроскопические уравнения Максвелла с формально введенными константами и подробно разбираются вопросы распространения электромагнитных волн в среде, а также связь этих констант с поляризацией и намагничиванием.

Уравнения геометрической оптики последовательно выводятся из уравнений Максвелла (при этом автоматически учитывается поперечность и векторный характер световых волн) и затем применяются к теории оптического изображения и к расчету aberrаций. Рассматриваются интерференция, элементарная и строгая теория дифракции, дифракционная теория aberrаций и дифракция света на ультразвуковых волнах. Подробно излагаются вопросы распространения, интерференции и дифракции частично когерентного света; основное внимание уделяется случаю квазимонохроматического излучения, причем общее рассмотрение строится на использовании метода корреляционных функций. Излагаются вопросы металлооптики и кристаллооптики.

Во всей книге много внимания уделяется изложению математического аппарата.

Таблиц 30, иллюстраций 369, библиография 814 назв.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора-перевода . . . . .	3
Предисловия к четвертому, третьему, второму изданиям . . . . .	10
Из предисловия к первому изданию . . . . .	11
Историческое введение . . . . .	15
Литература . . . . .	22
<b>Глава 1. Основные свойства электромагнитного поля . . . . .</b>	<b>24</b>
§ 1.1. Электромагнитное поле . . . . .	24
§ 1.2. Волновое уравнение и скорость света . . . . .	32
§ 1.3. Скалярные волны . . . . .	35
§ 1.4. Векторные волны . . . . .	43
§ 1.5. Отражение и преломление плоской волны . . . . .	54
§ 1.6. Распространение волн в слоистой среде. Теория диэлектрических пленок . . . . .	66
Литература . . . . .	81
<b>Глава 2. Электромагнитные потенциалы и поляризация . . . . .</b>	<b>83</b>
§ 2.1. Электродинамические потенциалы в вакууме . . . . .	84
§ 2.2. Поляризация и намагничение . . . . .	87
§ 2.3. Формула Лоренца — Лоренца и элементарная теория дисперсии . . . . .	94
§ 2.4. Описание распространения электромагнитных волн с помощью интегральных уравнений . . . . .	105
Литература . . . . .	115
<b>Глава 3. Основы геометрической оптики . . . . .</b>	<b>116</b>
§ 3.1. Приближение очень коротких длин волн . . . . .	116
§ 3.2. Общие свойства лучей . . . . .	127
§ 3.3. Другие основные теоремы геометрической оптики . . . . .	131
Литература . . . . .	136
<b>Глава 4. Геометрическая теория оптических изображений . . . . .</b>	<b>138</b>
§ 4.1. Характеристические функции Гамильтона . . . . .	138
§ 4.2. Идеальное отображение . . . . .	145
§ 4.3. Проективное преобразование (коллинеация) при наличии аксиальной симметрии . . . . .	152
§ 4.4. Параксиальная оптика . . . . .	157
§ 4.5. Стигматическое отображение пучками с большой угловой апертурой . . . . .	165
§ 4.6. Астигматические пучки лучей . . . . .	168
§ 4.7. Хроматическая абберация. Дисперсия призмы . . . . .	172
§ 4.8. Фотометрия. Апертуры оптических систем . . . . .	177
§ 4.9. Метод построения хода лучей . . . . .	186
§ 4.10. Оптические системы с несферическими поверхностями . . . . .	191
Литература . . . . .	196
<b>Глава 5. Геометрическая теория аббераций . . . . .</b>	<b>198</b>
§ 5.1. Волновые и лучевые абберации; функция аббераций . . . . .	198
§ 5.2. Эйконал Шварцшильда . . . . .	201
§ 5.3. Первичные абберации (абберации Зайделя) . . . . .	204
§ 5.4. Теорема сложения для случая первичных аббераций . . . . .	210
§ 5.5. Коэффициенты первичных аббераций произвольной центрированной системы линз . . . . .	211
§ 5.6. Пример: первичные абберации тонкой линзы . . . . .	217
§ 5.7. Хроматическая абберация произвольной центрированной системы линз . . . . .	220
Литература . . . . .	222

<b>Глава 6. Оптические приборы, формирующие изображение</b> . . . . .	223
§ 6.1. Глаз . . . . .	223
§ 6.2. Фотографический аппарат . . . . .	225
§ 6.3. Линзовый телескоп . . . . .	228
§ 6.4. Зеркальный телескоп . . . . .	233
§ 6.5. Осветители . . . . .	237
§ 6.6. Микроскоп . . . . .	237
Литература . . . . .	241
<b>Глава 7. Элементы теории интерференции и интерферометры</b> . . . . .	242
§ 7.1. Введение . . . . .	242
§ 7.2. Интерференция двух монохроматических волн . . . . .	243
§ 7.3. Двухлучевая интерференция. Деление волнового фронта . . . . .	245
§ 7.4. Стоячие волны . . . . .	259
§ 7.5. Двухлучевая интерференция. Деление амплитуды . . . . .	263
§ 7.6. Многолучевая интерференция . . . . .	297
§ 7.7. Сравнение длин волн с эталонным метром . . . . .	337
Литература . . . . .	338
<b>Глава 8. Элементы теории дифракции</b> . . . . .	341
§ 8.1. Введение . . . . .	341
§ 8.2. Принцип Гюйгенса — Френеля . . . . .	341
§ 8.3. Теория дифракции Кирхгофа . . . . .	345
§ 8.4. Переход к скалярной теории . . . . .	356
§ 8.5. Дифракция Фраунгофера на отверстиях разной формы . . . . .	362
§ 8.6. Дифракция Фраунгофера в оптических приборах . . . . .	369
§ 8.7. Дифракция Френеля на прямолинейном крае . . . . .	392
§ 8.8. Трехмерное распределение света вблизи фокуса . . . . .	397
§ 8.9. Граничная дифрагировавшая волна . . . . .	407
§ 8.10. Метод Габора получения изображения восстановлением волновых фронтов . . . . .	411
Литература . . . . .	416
<b>Глава 9. Дифракционная теория аберраций</b> . . . . .	420
§ 9.1. Дифракционный интеграл при наличии аберраций . . . . .	421
§ 9.2. Разложение функции аберрации . . . . .	425
§ 9.3. Допустимые величины первичных аберраций . . . . .	428
§ 9.4. Дифракционная картина, получающаяся при наличии одной аберрации . . . . .	433
§ 9.5. Изображение протяженных предметов . . . . .	441
Литература . . . . .	450
<b>Глава 10. Интерференция и дифракция частично когерентного света</b> . . . . .	451
§ 10.1. Введение . . . . .	451
§ 10.2. Комплексное представление вещественных полихроматических полей . . . . .	454
§ 10.3. Корреляционные функции световых лучков . . . . .	458
§ 10.4. Интерференция и дифракция квазимонохроматического света . . . . .	463
§ 10.5. Некоторые приложения . . . . .	477
§ 10.6. Некоторые теоремы, касающиеся взаимной когерентности . . . . .	489
§ 10.7. Строгая теория частичной когерентности . . . . .	492
§ 10.8. Поляризация квазимонохроматического света . . . . .	500
Литература . . . . .	511
<b>Глава 11. Строгая теория дифракции</b> . . . . .	513
§ 11.1. Введение . . . . .	513
§ 11.2. Граничные условия и поверхностные токи . . . . .	514
§ 11.3. Дифракция на плоском экране; электромагнитная форма принципа Бабине . . . . .	516
§ 11.4. Двумерная дифракция на плоском экране . . . . .	517
§ 11.5. Двумерная дифракция плоской волны на полуплоскости . . . . .	521
§ 11.6. Трехмерная дифракция плоской волны на полуплоскости . . . . .	533
§ 11.7. Дифракция волн, испускаемых локализованным источником, на полуплоскости . . . . .	535
§ 11.8. Другие задачи . . . . .	542
§ 11.9. Единственность решения . . . . .	546
Литература . . . . .	547

<b>Глава 12. Дифракция света на ультразвуковых волнах</b> . . . . .	549
§ 12.1. Качественное описание явления и краткое изложение теорий, основанных на применении дифференциальных уравнений Максвелла . . . . .	549
§ 12.2. Рассмотрение дифракции света на ультразвуковых волнах методом интегральных уравнений . . . . .	554
Литература . . . . .	565
<b>Глава 13. Металлооптика</b> . . . . .	567
§ 13.1. Распространение волн в проводнике . . . . .	567
§ 13.2. Преломление и отражение на поверхности металла . . . . .	571
§ 13.3. Элементарная электронная теория оптических постоянных металлов . . . . .	578
§ 13.4. Распространение волн в слоистой проводящей среде. Теория металлических пленок . . . . .	581
§ 13.5. Дифракция на проводящей сфере. Теория Ми . . . . .	585
Литература . . . . .	612
<b>Глава 14. Кристаллооптика</b> . . . . .	614
§ 14.1. Тензор диэлектрической проницаемости анизотропной среды . . . . .	614
§ 14.2. Структура монохроматической плоской волны в анизотропной среде . . . . .	616
§ 14.3. Оптические свойства одноосных и двухосных кристаллов. . . . .	625
§ 14.4. Измерения в кристаллооптике . . . . .	636
§ 14.5. Искусственная анизотропия . . . . .	648
§ 14.6. Поглощающие кристаллы . . . . .	653
Литература . . . . .	662
<b>Приложения</b> . . . . .	663
<i>Приложение 1.</i> Элементы вариационного исчисления . . . . .	663
<i>Приложение 2.</i> Обычная оптика, электронная оптика и волновая механика . . . . .	679
<i>Приложение 3.</i> Метод асимптотических оценок интегралов . . . . .	687
<i>Приложение 4.</i> Дельта-функция Дирака . . . . .	694
<i>Приложение 5.</i> Математическая лемма, используемая при строгом выводе закона Лоренца — Лоренца . . . . .	698
<i>Приложение 6.</i> Распространение разрывов электромагнитного поля . . . . .	700
<i>Приложение 7.</i> Круговые полиномы Цернике . . . . .	703
<i>Приложение 8.</i> Доказательство одного неравенства, приведенного в п. 10.7.3 . . . . .	707
<i>Приложение 9.</i> Вычисление двух интегралов, используемых в п. 12.2.2 . . . . .	708
Литература . . . . .	711
<b>Предметный указатель</b> . . . . .	713