М.О. РОМАНЮК, А.С. КРОЧУК, І.П. ПАШУК

ОПТИКА

ЗМІСТ

Передмова 11
Вступ 13

Розділ 1
КЛАСИЧНІ ЗАКОНИ ОПТИКИ

1.1. Основні закони геометричної оптики 19
1.2. Електромагнітні хвилі 24
1.2.1. Монохроматичні хвилі 28
1.2.2. Класифікація хвиль 31
1.3. Основи фотометрії 33
1.3.1. Основні визначення 33
1.3.2. Одиниці вимірювання світлових величин 36
1.3.2.1. Сила світла 36
1.3.2.2. Освітленість 37
1.3.2.3. Яскравість 38
1.3.2.4. Світність 40
1.4. Способи вимірювань світлових величин 41
Контрольні запитання 44

Розділ 2
ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА

2.1. Головні визначення 45
2.1.1. Принцип суперпозиції 45
2.1.2. Поняття про когерентність 46
2.2. Реалізація когерентних хвиль в оптиці 49
2.3. Інтерференція хвиль 50
3.1. Загальний опис інтерференційної картини 50
2.3.2. Реалізація когерентних джерел поділом хвильового фронту 55
2.4. Просторова і часова когерентність 60
2.5. Оптична довжина шляху 64
2.6. Методи отримання когерентних пучків променів поділом амплітуди 66
2.7. Допустима товщина плівок 71
2.8. Характерні інтерференційні картини 72
2.8.1. Кільця Ньютона 72
2.8.2. Стоячі світлові хвилі 75
2.9. Багатопроменева інтерференція 79
2.10. Застосування інтерференції 82
2.11. Інтерферометри 87
Контрольні запитання 97

Розділ 3
ДИФРАКЦІЯ СВІТЛА

3.1. Означення дифракції. Принцип Гюйгенса–Френеля 98
3.2. Зони А. Френеля 100
3.3. Зональна пластинка 104
3.4. Графічне складання амплітуд 105
3.5. Дифракція А. Френеля на різних перепонах 107
3.5.1. Дифракція на круглому отворі 107
3.5.2. Дифракція на круглому екрані 108
3.5.3. Дифракція на краю напівбезмежного плоского екрана 109
3.6. Дифракція Й. Фраунгофера на щілині 112
3.7. Дифракція від прямокутного і круглого отворів 119
3.8. Дифракція на двох щілинах 121
3.9. Амплітудна дифракційна ґратка 124
3.10. Похиле падіння променів на ґратку 130
3.11. Фазові дифракційні ґратки 131
3.12. Ешелон А. Майкельсона 134
3.13. Основні характеристики спектральних приладів 135
3.13.1. Дисперсія спектрального приладу 137
3.13.2. Роздільна здатність спектрального приладу 138
3.13.3. Дисперсійна область 142
3.14. Аналіз світлового імпульсу 143
3.15. Дифракція на багатовимірних структурах 145
Контрольні запитання 153

Розділ 4
ОПТИЧНА ГОЛОГРАФІЯ

4.1. Поняття про голографію 154
4.2. Отримання голограми та відтворення зображення предмета 155
4.3. Голограма точки 160
4.4. Об'ємні голограми. Метод Денисюка 163
4.5. Кольорове голографування 165
Контрольні запитання 166

Розділ 5
ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

5.1. Принцип П. Ферма і висновки з нього 168
5.1.1. Прямолінійне поширення та відбивання світла в однорідному середовищі 168
5.1.2. Закон заломлення світла 170
5.1.3. Збільшення тривалості дня. Міраж 172
5.1.4. Умова стаціонарності часу 173
5.2. Утворення оптичних зображень 174
5.2.1. Системи поверхонь і нульові промені 174
5.2.2. Правила знаків на сферичній поверхні 175

5.3. Заломлення променів на сферичній поверхні
Нульовий інваріант Е. Аббе 177
5.4. Формула тонкої лінзи 179
5.5. Теорема Лагранжа–Гельмгольца 180
5.6. Центрована оптична система 182
5.7. Ідеальна оптична система 185
5.7.1. Положення та поперечне збільшення зображення 186
5.7.2. Поздовжнє збільшення 188
5.7.3. Поширення променів через оптичну систему 190
5.8. Характеристики двокомпонентної системи 192
5.9. Типи лінз 196
5.10. Роздільна здатність оптичних приладів 200
5.10.1. Роздільна здатність об'єктива 201
5.10.2. Роздільна здатність мікроскопа 203
5.10.3. Дифракційна теорія зображення Аббе 204
5.10.4. Метод фазового контрасту 207
5.11. Діафрагми оптичних систем 210
5.11.1. Загальні визначення 210
5.11.2. Положення діафрагм оптичної системи 213
5.12. Монохроматичні аберації оптичних систем 215
5.12.1. Сферична аберація 218
5.12.2. Аберація кома 220
5.12.3. Астигматизм і кривизна поля 222
5.12.4. Дисторсія 224
5.13. Хроматична аберація 225
5.14. Апланатизм. Умова синусів Аббе 228
5.15. Оптика зору 230
5.15.1. Будова і загальні характеристики ока 230
5.15.2. Головні недоліки зору 234
Контрольні запитання 237

Розділ 6
ШВИДКІСТЬ СВІТЛА. ОПТИКА РУХОМИХ СЕРЕДОВИЩ

6.1. Методи визначення швидкості світла 238
6.1.1. Астрономічні методи 238
6.1.1.1. Метод О. Ремера 239
6.1.1.2. Метод Й. Бредлі 240
6.2. Лабораторні методи 242
6.3. Елементи оптики рухомих середовищ 245
6.3.1. Ефект Х. Допплера 246
6.3.2. Дослід Фізо 249
6.3.3. Дослід А. Майкельсона 252
6.4. Елементи спеціальної теорії відносності 255
6.5. Висновки з перетворень Лорентца 258
6.5.1. Поняття "одночасності" 258
6.5.2. Порівняння довжини відрізків 258
6.5.3. Порівняння тривалості процесів 259
6.5.4. Додавання швидкостей. Коефіцієнт захоплення 260

6.5.5. Явище Х. Допплера 260
6.6. Ефект Саньяка 265
Контрольні запитання 266

Розділ 7
ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА

7.1. Визначення і види поляризації 267
7.1.1. Поляризація у хвильовій теорії світла 267
7.1.2 Квантові пояснення поляризації світла 269
7.2. Зміни характеристик світлового пучка на межі середовищ 271
7.2.1. Формули А. Френеля і висновки з них 271
7.2.1.1. Кутові залежності амплітуд і фаз відбитих пучків світла 274
7.2.1.2. Кутові залежності інтенсивності відбитих пучків світла 276
7.2.1.3. Кутові залежності інтенсивності відбитого та заломленого пучків світла при зміні послідовності середовищ 277
7.2.2. Поляризація світла при відбиванні. Закон Брюстера 278
7.3. Фізичний зміст закону Д. Брюстера 280
7.4. Повне внутрішнє відбивання світла 282
7.5. Відбивання світла від металів 291
7.6. Застосування відбитого світла 295
7.6.1. Відбивні поляризатори світла 295
7.6.2. Фазові пристрої та компенсатори різниці фаз 297
7.6.3. Оптичні світловоди, волоконно-оптичні датчики полів та елементи схем інтегральної оптики 297
7.6.4. Використання відбитого світла у фізичному експерименті та в техніці 300
Контрольні запитання 302

Розділ 8
ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА

8.1. Спектральна залежність показників заломлення прозорих матеріалів 303
8.1.1. Методи вимірювання показників заломлення 303
8.1.1.1. Метод призми 304
8.1.1.2. Метод рефрактометра 305
8.1.1.3. Інтерференційні методи 306
8.1.2. Величини і дисперсійні залежності показників заломлення 311
8.2. Теорія часової дисперсії світла 314
8.2.1. Електронна поляризовність речовини і дисперсія світла 317
8.2.2. Квантові пояснення дисперсії показника заломлення 321
8.2.3. Поляризовність атома 321
8.2.4. Показники заломлення в особливих ділянках спектра 324
8.3. Вплив взаємодії частинок на дисперсію світла 324
8.3.1. Формула Лорентц–Лоренца 324
8.3.2. Рефракція речовини та її застосування 325
8.4. Дисперсія показника заломлення конденсованих систем 326
8.4.1. Феноменологічний опис дисперсії показника заломлення 326
8.4.2. Дисперсія оптичних коливань ґратки 328
8.4.3. Дисперсія змішаних механічних та електромагнітних коливань у кристалах 332

8.4.4. Інші впливи на дисперсію показника заломлення 335
8.5. Спектри поглинання 336
8.5.1. Означення та основні співвідношення 336
8.5.2. Спектральний аналіз 338
8.5.3. Оптика метаматеріалів 341
Контрольні запитання 345

Розділ 9
ОПТИКА АНІЗОТРОПНИХ СЕРЕДОВИЩ

9.1. Оптична анізотропія кристалів при часовій дисперсії світла 346
9.1.1. Опис оптичної анізотропії на основі рівнянь Дж. Максвелла 346
9.1.2. Векторна форма рівнянь Дж. Максвелла та висновки з них 350
9.1.3. Поляризація світла та лінійне двопроменезаломлення 352
9.1.4. Оптична індикатриса і симетрія кристала 353
9.1.5. Подвійні оптичні поверхні. Оптичні осі 356
9.1.6. Заломлення світла у кристалах. Побудова Х. Гюйгенса 362
9.2. Просторова дисперсія світла у кристалах 364
9.2.1. Феноменологічний опис просторової дисперсії світла. Циркулярне двопроменезаломлення 364
9.2.2. Повертання площини поляризації світла. Оптична активність і симетрія речовини 367
9.2.3. Гіраційні поверхні кристалів 370
9.2.4. Інші прояви просторової дисперсії світла 372
9.2.5. Оптичні властивості рідких кристалів 373
9.3. Інтерференція поляризованих променів 375
9.3.1. Реалізація інтерференції лінійно поляризованих променів 375
9.3.2. Отримання різниці фаз за допомогою кристалів 377
9.4. Поверхні постійної фази у кристалах 378
9.4.1. Аналітичний опис різниці ходу в разі двопроменезаломлення 380
9.4.2. Коноскопічні фігури кристалів 380
9.5. Отримання та аналіз поляризованого світла 383
9.5.1. Складання ортогональних коливань 383
9.5.2. Аналіз поляризації світла 385
9.6. Поляризаційні пристрої на базі кристалів 388
9.6.1. Кристалічні поляризатори 388
9.6.2. Кристалооптичні компенсатори різниці фаз 390
9.7. Застосування поляризованого світла 391
Контрольні запитання 393

Розділ 10
ОПТИЧНІ ПАРАМЕТРИЧНІ ЕФЕКТИ У ПРОЗОРИХ СЕРЕДОВИЩАХ

10.1. Феноменологічний опис параметричних змін лінійного двопроменезаломлення 394
10.1.1. Електрооптичний ефект 395
10.1.2. Зміни оптичної індикатриси в разі ЕОЕ 398
10.1.3. П'єзооптичний ефект. Елементи акустооптики 403
10.1.4. Магнітооптичні ефекти 410

10.1.4.1. Ефект Коттона–Мутона. Магнітне двопроменезаломлення 410
10.1.4.2. Невзаємне лінійне двопроменезаломлення 410
10.2. Феноменологічний опис параметричних змін циркулярного двопроменезаломлення 411
10.2.1. Електрогірація, п'єзогірація 411
10.2.2. Ефект Фарадея 411
10.3. Модельний опис параметричних оптичних ефектів 413
10.3.1. Лінійний електрооптичний ефект 413
10.3.2. Ефект Й. Штарка 414
10.3.3. П'єзооптичний ефект 416
10.3.4. Ефект М. Фарадея. Явище П. Зеемана 416
10.3.5. Залежність показника заломлення від інтенсивності світла 421
10.4. Застосування параметричних оптичних ефектів 424
10.4.1. Область слабких полів 424
10.4.2. Параметричні ефекти нелінійної оптики 428
10.4.2.1. Самофокусування та самодифракція 428
10.5. Часові вимірювання з використанням нелінійнооптичних ефектів 431
Контрольні запитання 435

Розділ 11
ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

11.1. Загальні зауваження і визначення 436
11.2. Закони теплового випромінювання 437
11.3. Формула М. Планка і закони теплового випромінювання 443
11.3.1. Закон Стефана–Больцмана 443
11.3.2. Формула Релея–Джінса 444
11.3.3. Правило зміщення В. Віна 445
11.4. Оптична пірометрія 446
11.4.1. Радіаційна температура 446
11.4.2. Яскравісна температура 447
11.4.3. Кольорова температура 449
Контрольні запитання 450

Розділ 12
КВАНТОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА

12.1. Спонтанне та вимушене випромінювання світла 452
12.2. Коефіцієнти А. Айнштайна і формула М. Планка 453
12.3. Зовнішній фотоелектричний ефект 456
12.3.1. Загальний опис явища 456
12.3.2. Рівняння А. Айнштайна для фотоефекту 458
12.3.3. Пояснення законів зовнішнього фотоефекту 459
12.4. Фотоприймачі 460
12.5. Фотоефект у напівпровідниках та діелектриках 462
12.6. Явище А. Комптона 465
12.7. Тиск світла 468
12.8. Ефект Садовського. Дослід Бета 470
Контрольні запитання 576

Розділ 13
РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА

13.1. Розсіювання світла в оптично неоднорідному середовищі 473
13.2. Молекулярне розсіювання світла 477
13.3. Комбінаційне розсіювання світла 479
13.4. Поляризація розсіяного світла 481
13.5. Розсіяння світла й атмосферні оптичні явища 483
Контрольні запитання 485

Розділ 14
ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ

14.1. Означення люмінесценції 486
14.2. Класифікація люмінесценції 487
14.3. Енергетичні характеристики люмінесценції 490
14.3.1. Спектральні характеристики 490
14.3.2. Енергетичний та квантовий вихід люмінесценції 492
14.4. Часові характеристики люмінесценції 492
14.4.1. Люмінесценція дискретних центрів 492
14.4.2. Кінетика загасання рекомбінаційної люмінесценції 495
14.5. Осциляційні моделі центрів люмінесценції 497
14.5.1. Електричний диполь 497
14.5.2. Електричний ротатор 498
14.5.3. Електричний квадруполь 499
14.5.4. Магнітний диполь 500
14.6. Механізми люмінесценції речовин у різних агрегатних станах 500
14.7. Люмінесценція кристалофосфорів 502
14.8. Закони люмінесценції 504
14.9. Гасіння люмінесценції 508
14.10. Застосування люмінесценції 509
Контрольні запитання 510

Розділ 15
ЛАЗЕРИ

15.1. Загальні відомості про будову лазера 511
15.2. Умови виникнення генерації 520
15.4. Основні типи лазерів та їхні характеристики 524
15.5. Керування параметрами лазерного випромінювання 525
15.5.1. Модуляція добротності 530
15.5.2. Синхронізація мод 530
15.6. Використання лазерів 531
Контрольні запитання 535

Розділ 16

ЕЛЕМЕНТИ НЕЛІНІЙНОЇ ОПТИКИ

16.1. Нелінійна поляризація і дисперсія світла 536
16.2. Некогерентні та когерентні нелінійні оптичні ефекти 537
16.3. Когерентні ефекти нелінійної оптики 538
16.3.1. Відбивання світла у нелінійній оптиці 538
16.3.2. Прояви квадратичної нелінійності 542
16.3.2.1. Генерація нових частот 542
16.3.2.2. Експериментальне виявлення ефектів квадратичної нелінійності 546
16.3.3. Параметричне підсилення світла 547
16.4. Параметричні генератори 549
16.5. Вимушене комбінаційне розсіювання світла 552
16.6. Вимушене розсіяння Мандельштама–Бріллюена 553
Підсумки 556
Контрольні запитання 557

Література 558

Предметний покажчик 559

ДОДАТКИ