

Міністерство освіти та науки України
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна

Теоретична електродинаміка

Підручник

Харків – 2016

УДК 537.8(075.8)

ББК 22.313я73

ТЗЗ

Рецензенти: **О. Г. Нерух** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики Харківського національного університету радіоелектроніки;

О. О. Дробахін – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної і комп'ютерної радіофізики Дніпропетровського національного університету.

*Затверджено до друку рішенням Вченої ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 12 от 24.11.14 р.)*

Теоретична електродинаміка : підручник / [О. В. Багацька, О. Ю. Бутрим, М. М. Колчигін та ін.] – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 414 с.

ISBN 978-966-285-253-0

Пропонований підручник містить матеріали лекційного курсу «Електродинаміка», який читається на радіофізичному факультеті Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна понад тридцять років. Підручник присвячено вивченню класичної теорії взаємодії електромагнітного поля з зарядженими частинками, з речовиною, а також основних закономірностей поширення електромагнітних хвиль у середовищах з різними електрофізичними властивостями. Структурно посібник складається з трьох частин: «Мікроскопічна електродинаміка», «Рівняння макроскопічної електродинаміки» та «Електромагнітні хвилі», містить необхідну допоміжну інформацію, питання і завдання для самоконтролю.

Підручник орієнтовано на широкий загал студентів, аспірантів, викладачів і фахівців, що працюють у галузі фізики та радіофізики.

УДК 537.8(075.8)

ББК 22.313я73

ISBN 978-966-285-253-0

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2016

© Багацька О. В., Бутрим О. Ю., Колчигін М. М.,
Третьяков О. О., Шульга С. М., 2016

© Антюфєєва М. С., макет обкладинки, 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	6
ПЕРЕДМОВА.....	7
ГЛАВА 1. МІКРОСКОПІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА	9
Вступ	9
§ 1. Функція Лагранжа для зарядженої частинки в електромагнітному полі. Чотиривимірний векторний потенціал електромагнітного поля.....	13
§ 2. Рівняння руху для зарядженої частинки в електромагнітному полі. Сила Лоренца	22
§ 3. Перша пара рівнянь Максвелла	28
§ 4. Градієнтна інваріантність потенціалів. Умова калібровки потенціалів	32
§ 5. Релятивістсько-коваріантне рівняння руху заряду в електромагнітному полі. Тензор електромагнітного поля	36
§ 6. Чотиривимірний вектор імпульсу зарядженої частинки в електромагнітному полі	44
§ 7. Властивості перетворення Лоренца стосовно векторних і тензорних величин з теорії електромагнітного поля	48
§ 8. Перетворення Лоренца для електромагнітного поля	53
§ 9. Інваріанти електромагнітного поля.....	61
§ 10. Густина заряду. Чотиривимірний вектор густини струму	66
§ 11. Закон збереження заряду. Рівняння безперервності	70
§ 12. Функціонал дії для електромагнітного поля	75
§ 13. Друга пара рівнянь Максвелла	81
§ 14. Самоузгоджена система рівнянь мікроскопічної електродинаміки (теорії поля).....	93
§ 15. Закон збереження енергії в мікроскопічній електродинаміці.....	97
§ 16. Електростатика	104
§ 17. Магнітостатика	112

ГЛАВА 2. РІВНЯННЯ МАКРОСКОПІЧНОЇ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ	117
Вступ	117
§ 18. Усреднення рівнянь мікроскопічної електродинаміки	122
§ 19. Фізичний зміст середньої густини заряду. Вектор поляризації. Вектор електричного зміщення	129
§ 20. Фізичний зміст середнього значення густини струму. Вектор намагніченості. Вектор напруженості магнітного поля	142
§ 21. Система диференціальних рівнянь Максвелла для макроскопічного електромагнітного поля	151
§ 22. Матеріальні рівняння для електромагнітного поля	156
§ 23. Граничні умови для нормальних складових векторів \vec{B} і \vec{D}	173
§ 24. Граничні умови для тангенціальних складових векторів \vec{E} і \vec{H}	183
§ 25. Закон збереження енергії у макроскопічній електродинаміці. Теорема Умова–Пойнтинга	194
§ 26. Теорема єдиності розв'язку граничної задачі макроскопічної електродинаміки	201
ГЛАВА 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ	213
Вступ	213
§ 27. Хвильове рівняння	215
§ 28. Фізичні властивості плоских електромагнітних хвиль	225
§ 29. Плоскі монохроматичні хвилі	236
§ 30. Рівняння Максвелла у комплексній формі для монохроматичних плоских хвиль	243
§ 31. Поширення монохроматичних плоских хвиль у середовищі з втратами	256
§ 32. Середні в часі значення фізичних величин. Теорема Умова–Пойнтинга для комплексних амплітуд	271
§ 33. Частотні (спектральні) розкладання електромагнітного поля	279

§ 34. Дисперсія діелектричної проникності	289
§ 35. Співвідношення Крамерса–Кроніга	306
§ 36. Прозорі середовища	314
§ 37. Падіння плоскої хвилі на плоску границю розділу середовищ. Закони Снеліуса	320
§ 38. Формули Френеля	330
ДОДАТКИ	348
Додаток А. Векторний аналіз	348
Додаток В. Тензорний аналіз	357
Додаток С. Властивості дельта-функції Дірака	366
Додаток D. Спеціальна теорія відносності	369
Додаток Е. Релятивістська механіка	375
Додаток F. Лінійний діелектричний і магнітний гістерезис	380
Додаток G. Елементи теорії функції комплексної змінної	382
Додаток H. Довідкова інформація	386
ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ	395
ЛІТЕРАТУРА	407
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	408