

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**В.В. БОЙКО, Г.І. БУЛАХ,  
Я.О. ГУМЕНЮК, П.П. ЛЬІН**

# **ФІЗИКА**

**ПІДРУЧНИК  
для вищих навчальних закладів**

**КИЇВ  
Видавництво Ліра-К  
2016**

**УДК 53 (075)**

***Рецензенти:***

**Боровий М.О.** – завідувач кафедри загальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка доктор фізико-математичних наук, професор;

**Гололобов Ю.П.** – завідувач кафедри фізики Національного транспортного університету, доктор фізико-математичних наук професор;

**Мороженко О.В.** – головний науковий співробітник ГАО НАН України доктор фізико-математичних наук, професор.

*Рекомендовано до видання Вченою радою  
Національного університету біоресурсів та природокористування України  
як підручник для студентів ВНЗ III – IV рівнів акредитації  
(протокол № 12 від 25 травня 2016 року)*

**Фізика:** Підручник / В.В. Бойко, Г.І. Булах, Я.О. Гуменюк, П.П. Ільїн. – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 468 с.

**ISBN 978-617-7320-55-4**

У підручнику розглянуто теоретичні відомості з основних розділів фізики: механіки та механічних і електричних коливань і хвиль; молекулярної фізики та термодинаміки; електрики та магнетизму; оптики; елементів квантової фізики, фізики твердого тіла, атома та ядра відповідно до вимог кредитно-модульної системи. Представлено короткі довідкові дані з: основ фізичних вимірювань; операцій з векторами та елементів векторного аналізу а також деяких понять вищої математики. Для студентів нефізичних спеціальностей вищих навчальних закладів України.

**ISBN 978-617-7320-55-4**

© Бойко В.В., Булах Г.І.,  
Гуменюк Я.О., Ільїн П.П., 2016  
© Видавництво Ліра-К, 2016

# ЗМІСТ

---

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	10
Загальні положення дисципліни .....	12
<b>Розділ 1. МЕХАНІКА</b>	
<b>1.1. Основи кінематики</b> .....	15
1.1.1. Матеріальна точка, тверде тіло, поступальний та обертальний рух .....	15
1.1.2. Простір, час, система відліку, траєкторія, шлях, переміщення, радіус-вектор .....	18
1.1.3. Швидкість .....	20
1.1.4. Прискорення .....	22
1.1.5. Кутова швидкість .....	23
1.1.6. Зв'язок лінійної та кутової швидкості .....	25
1.1.7. Тангенціальне та нормальне (доцентрове) прискорення .....	27
1.1.8. Кутове прискорення .....	28
<b>1.2. Основи динаміки</b> .....	29
1.2.1. Перший закон Ньютона. Інерція .....	29
1.2.2. Інерціальні системи відліку. Принцип відносності Галілея .....	31
1.2.3. Маса. Імпульс тіла .....	33
1.2.4. Сила. Другий закон Ньютона .....	34
1.2.5. Третій закон Ньютона .....	35
1.2.6. Закон збереження імпульсу замкненої системи .....	36
1.2.7. Центр мас (центр інерції) .....	39
1.2.8. Реактивний рух .....	41
<b>1.3. Сили в механіці: гравітації, пружності, тертя</b> .....	43
1.3.1. Сили гравітації. Напруженість гравітаційного поля .....	43
1.3.2. Вільне падіння. Прискорення вільного падіння .....	45
1.3.3. Вага тіла .....	46
1.3.4. Рух тіл поблизу Землі. Штучні супутники Землі .....	53
1.3.5. Сили пружності .....	53
1.3.6. Сили тертя .....	58
<b>1.4. Механічна енергія та робота</b> .....	62
1.4.1. Механічна робота та потужність .....	62

1.4.2. Кінетична і потенціальна енергія. Повна механічна енергія .....	64
1.4.3. Закон збереження механічної енергії.....	66
<b>1.5. Динаміка обертального руху .....</b>	<b>67</b>
1.5.1. Момент сили .....	67
1.5.2. Момент інерції.....	70
1.5.3. Основне рівняння динаміки обертального руху .....	71
1.5.4. Робота та енергія при обертальному русі .....	73
1.5.5. Момент імпульсу. Закон збереження моменту імпульсу..	74
<b>1.6. Елементи статички .....</b>	<b>76</b>
1.6.1. Перша умова рівноваги .....	76
1.6.2. Друга умова рівноваги тіла, що має вісь обертання.....	76
<b>1.7. Елементи статички та динаміки рідин та газів .....</b>	<b>79</b>
1.7.1. Тиск. Закон Паскаля .....	79
1.7.2. Атмосферний тиск .....	81
1.7.3. Закон Архімеда .....	82
1.7.4. Стаціонарний потік ідеальної рідини. Рівняння нерозривності потоку .....	84
1.7.5. Тиск у потоці рідини. Рівняння Бернуллі.....	86
<b>1.8. Елементи спеціальної теорії відносності.....</b>	<b>89</b>
<b>1.9. Механічні коливання та хвилі .....</b>	<b>93</b>
1.9.1. Гармонічні коливання .....	93
1.9.2. Швидкість та прискорення при гармонічних Коліваннях.....	94
1.9.3. Математичний маятник.....	97
1.9.4. Фізичний маятник.....	99
1.9.5. Енергія гармонічних коливань .....	100
1.9.6. Загасаючі коливання .....	102
1.9.7. Вимушені коливання. Резонанс. Автоколивання .....	104
1.9.8. Механічні хвилі. Рівняння хвилі .....	108
1.9.9. Інтерференція та дифракція хвиль .....	112
1.9.10. Звукові хвилі .....	116

## **Розділ 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА ТЕРМОДИНАМІКА**

<b>2.1. Молекулярно – кінетична теорія ідеальних газів .....</b>	<b>120</b>
2.1.1. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії. Дослідні газові закони .....	120
2.1.2. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеальних газів.....	127

2.1.3. Середня кінетична енергія руху молекул.....	129
2.1.4. Розподіл молекул за швидкостями (розподіл Максвелла) .....	132
2.1.5. Барометрична формула. Розподіл Больцмана.....	135
<b>2.2. Явища переносу</b> .....	137
2.2.1. Середня довжина вільного пробігу молекул та ефективний діаметр молекул .....	138
2.2.2. Теплопровідність. Закон Фур'є .....	139
2.2.3. Дифузія. Закон Фіка .....	141
2.2.4. Внутрішнє тертя (в'язкість). Закон Ньютона.....	142
<b>2.3. Основи термодинаміки</b> .....	144
2.3.1. Внутрішня енергія. Внутрішня енергія ідеального газу .....	144
2.3.2. Кількість теплоти. Теплоємність.....	146
2.3.3. Робота газу .....	148
2.3.4. Перший закон термодинаміки .....	151
2.3.5. Застосування першого закону термодинаміки до ізопроцесів .....	153
2.3.6. Адіабатичний процес .....	155
2.3.7. Оборотні та необоротні процеси .....	156
2.3.8. Принцип дії ідеальної теплової машини .....	157
2.3.9. Другий закон термодинаміки. Ентропія.....	161
<b>2.4. Реальні гази</b> .....	165
2.4.1. Сили міжмолекулярної взаємодії в реальних газах.....	165
2.4.2. Рівняння Ван-дер-Ваальса .....	167
2.4.3. Ізотерми Ван-дер-Ваальса .....	168
2.4.4. Внутрішня енергія реального газу .....	172
<b>2.5. Тверді тіла</b> .....	173
2.5.1. Тверді тіла. Кристалічні та аморфні тіла.....	173
2.5.2. Кристалографічна ознака кристалів.....	175
2.5.3. Фізичні ознаки кристалів .....	177
2.5.4. Недосконалості та дефекти в кристалах.....	178
2.5.5. Теплоємність твердих тіл.....	179
<b>2.6. Агрегатні стани речовини та агрегатні переходи</b> .....	180
2.6.1. Плавлення та кристалізація .....	180
2.6.2. Пароутворення і конденсація .....	182
2.6.3. Насичена і ненасичена пара.....	184
2.6.4. Абсолютна і відносна вологість .....	185
<b>2.7. Поверхневі явища</b> .....	187

2.7.1. Сили поверхневого натягу .....	187
2.7.2. Явища на межі розділу рідини і твердого тіла.....	188
2.7.3. Тиск під викривленою поверхнею рідини. Капілярні явища .....	190
2.7.4. Капіляри .....	191

## **Розділ 3. ЕЛЕКТРИКА**

<b>3.1. Електричне поле. Електростатика</b> .....	193
3.1.1. Електричні заряди та їх взаємодія.....	193
3.1.2. Напруженість електростатичного поля .....	195
3.1.3. Потенціал електростатичного поля.....	199
3.1.4. Зв'язок напруженості та потенціалу електростатичного поля. Градієнт потенціалу.....	201
3.1.5. Провідники та діелектрики в електричному полі.....	204
3.1.6. Електроємність провідника. Конденсатори .....	206
3.1.7. З'єднання конденсаторів .....	208
3.1.8. Енергія зарядженого провідника, конденсатора, електростатичного поля .....	210
<b>3.2. Електричний струм</b> .....	212
3.2.1. Постійний електричний струм. Сила та густина струму .....	212
3.2.2. Електрорушійна сила джерела струму .....	213
3.2.3. Закон Ома для однорідної ділянки кола. Опір.....	215
3.2.4. Послідовне та паралельне з'єднання провідників .....	217
3.2.5. Закон Ома для повного (неоднорідного) замкненого кола .....	219
3.2.6. Закон Ома в диференціальній формі .....	220
3.2.7. Правила Кірхгофа для розгалужених електричних кіл...	223
3.2.8. Робота і потужність струму. Закон Джоуля-Ленца. Теплова дія електричного струму .....	224
<b>3.3. Електричний струм у різних середовищах</b> .....	226
3.3.1. Електричний струм у рідинах (електролітах).....	226
3.3.2. Електричний струм в газах .....	228
3.3.3. Електричний струм у вакуумі.....	230

## **Розділ 4. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ**

<b>4.1. Магнітне поле</b> .....	236
4.1.1. Індукція магнітного поля .....	236

4.1.2. Закон Біо-Савара-Лапласа.....	239
4.1.3. Сила Ампера.....	242
4.1.4. Сила Лоренца .....	243
4.1.5. Взаємодія прямих паралельних провідників зі струмами.....	245
4.1.6. Магнітний потік. Закон Фарадея-Максвелла для електромагнітної індукції .....	247
4.1.7. Явище самоіндукції. Індуктивність .....	250
4.1.8. Енергія магнітного поля.....	251
<b>4.2. Електромагнітні коливання та хвилі .....</b>	<b>253</b>
4.2.1 Вільні коливання в ідеалізованому коливальному контурі .....	253
4.2.2. Змінний струм .....	258
4.2.3. Єдине електромагнітне поле.....	266
4.2.4. Властивості електромагнітних хвиль .....	267
4.2.5. Шкала електромагнітних випромінювань.....	271
4.2.6. Класифікація радіохвиль і особливості їх поширення .....	272

## **Розділ 5. ОПТИКА**

<b>5.1. Геометрична оптика .....</b>	<b>279</b>
5.1.1. Видиме випромінювання (видиме світло).....	279
5.1.2. Закони геометричної оптики .....	281
5.1.3. Явище повного внутрішнього відбивання .....	283
5.1.4. Лінзи. Хід променів в лінзах.....	285
5.1.5. Формула лінзи. Оптична сила лінзи .....	290
<b>5.2. Хвильова оптика .....</b>	<b>291</b>
<b>5.2.1. Інтерференція світла .....</b>	<b>291</b>
5.2.1.1. Явище інтерференції світла .....	291
5.2.1.2. Когерентність.....	294
5.2.1.3. Спостереження інтерференції світла .....	297
<b>5.2.2. Дифракція світла .....</b>	<b>299</b>
5.2.2.1. Принцип Гюйгенса та Гюйгенса-Френеля .....	299
5.2.2.2. Дифракція на щілині.....	301
5.2.2.3. Дифракції на дифракційній решітці.....	303
<b>5.2.3. Поляризація світла .....</b>	<b>306</b>
5.2.3.1. Природне і поляризоване світло .....	306
5.2.3.2. Поляризатор та аналізатор. Закон Малюса .....	308
5.2.3.3. Закон Брюстера .....	310

5.2.3.4. Поляризація розсіяного світла.....	312
5.2.3.5. Оптична анізотропія двозаломлювальних кристалів.....	313
5.2.3.6. Призма Ніколя.....	317
5.2.3.7. Дихроїзм двозаломлювальних кристалів. Поляроїди .....	317
<b>5.2.4. Дисперсія світла. Спектри .....</b>	<b>318</b>
5.2.4.1. Явище дисперсії світла.....	318
5.2.4.2. Спектральні прилади.....	321
5.2.4.3. Спектри випромінювання та поглинання.....	324
 <b>Розділ 6. ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ, ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА, АТОМА ТА ЯДРА</b>	
<b>6.1. Квантова оптика.....</b>	<b>329</b>
6.1.1. Закони теплового випромінювання .....	329
6.1.2. Поняття про кванти. Квантова гіпотеза Планка .....	334
6.1.3. Гіпотеза Ейнштейна. Фотони. Фотоэффект.....	335
6.1.4. Корпускулярно-хвильовий дуалізм .....	340
6.1.5. Хвильові властивості мікрочастинок. Хвилі де Бройля .....	343
6.1.6. Стівідношення невизначеностей Гейзенберга.....	345
6.1.7. Квантові постулати Бора.....	347
6.1.8. Теорія атома за Бором. Спектр атома водню. Природа спектральних ліній.....	351
6.1.9. Спонтанне та вимушене випромінювання. Підсилення світла. Лазер.....	356
<b>6.2. Елементи фізики твердого тіла .....</b>	<b>361</b>
6.2.1. Основні фізичні властивості і характеристики напівпровідників.....	361
6.2.2. Домішкові напівпровідники .....	369
6.2.3. Залежність електропровідності домішкових напівпровідників від температури .....	370
6.2.4. Рухливість носіїв заряду. Електропровідність напівпровідника .....	372
6.2.5. Ефект Холла .....	375
<b>6.3. Елементи фізики ядра.....</b>	<b>379</b>
6.3.1. Склад та розміри ядра .....	379
6.3.2. Радіоактивність .....	383
6.3.3. Методи реєстрації іонізуючих випромінювань .....	394



6.3.4. Прискорювачі заряджених частинок .....	397
6.3.5. Елементарні частинки .....	399
<b>Розділ 7. МАТЕМАТИЧНИЙ ДОДАТОК</b>	
<b>7.1. Вектори. Дії з векторами .....</b>	<b>402</b>
7.1.1. Проекція вектора .....	402
7.1.2. Добуток вектора на скаляр .....	404
7.1.3. Скалярний добуток двох векторів .....	404
7.1.4. Векторний добуток двох векторів .....	406
7.1.5. Сума та різниця векторів .....	408
<b>7.2. Похідна функції .....</b>	<b>410</b>
<b>7.3. Невизначений та визначений інтеграл .....</b>	<b>412</b>
<b>Розділ 8. ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН ТА</b>	
<b>ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ .....</b>	<b>414</b>
<b>8.1. Основні поняття теорії похибок. Прямі та</b> <b>непрямі вимірювання. ....</b>	<b>414</b>
<b>8.2. Види похибок. Математична обробка</b> <b>результатів прямих вимірювань .....</b>	<b>417</b>
<b>8.3. Математична обробка результатів непрямих</b> <b>вимірювань .....</b>	<b>422</b>
<b>8.4. Графічний спосіб представлення</b> <b>результатів експерименту .....</b>	<b>424</b>
<b>8.5. Вивчення нонісів .....</b>	<b>428</b>
<b>Розділ 9. ДОДАТКИ</b>	
9.1. Фізичні величини та одиниці їх вимірювання .....	435
9.2. Вказівки щодо розв'язування задач .....	438
9.3. Вимірювання електричних величин .....	439
9.4. Визначення основних одиниць системи СІ .....	448
9.5. Основні фізичні сталі (округлені значення) .....	449
9.6. – 9.21. Довідкові дані .....	450
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ТА ВИКОРИСТАНОЇ</b> <b>ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>457</b>
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....</b>	<b>460</b>