


Е. І. Личковський

В. О. Тіманюк

О. В. Чалий

Ю. Є. Лях

О. М. Животова



Біофізика.  
Фізичні методи  
аналізу та  
метрологія

Підручник

За редакцією

Е. І. Личковського

В. О. Тіманюка

Вінниця

Нова Книга

2014

УДК 615.5  
ББК 52.5  
Б63

*Затверджено Міністерством охорони здоров'я України як підручник для студентів вищих медичних та фармацевтичних навчальних закладів IV рівня акредитації (протокол № 4 від 14.11.2013 р. засідання Комісії з медицини Науково-методичної ради з питань освіти Міністерства освіти і науки України)*

**Автори:**

**Е. І. Личковський, В. О. Тіманюк, О. В. Чалий,  
Ю. Є. Лях, О. М. Животова**

**Рецензенти:**

**Д. І. Санагурський** – завідувач кафедри біофізики та біоінформатики Львівського національного університету імені Івана Франка, доктор біол. наук, професор;

**О. М. Бордун** – професор кафедри фізичної і біомедичної електроніки Львівського національного університету імені Івана Франка, доктор фіз.-мат. наук;

**З. М. Микитюк** – професор кафедри електронних приладів та пристроїв Національного університету “Львівська політехніка”, доктор фіз.-мат. наук.

*Видання підготовлено відповідно до наказу МОЗ України від 22.06.2010 № 502 як єдиний національний підручник*

**Біофізика. Фізичні методи аналізу та метрологія** : підручник / Е. І. Личковський, В. О. Тіманюк, О. В. Чалий [та ін.] ; за ред. Е. І. Личковського, В. О. Тіманюка. – Вінниця : Нова Книга, 2014. – 464 с.

ISBN 978-966-382-541-0

У підручнику подається біофізична суть організації функціонування біологічних об'єктів на клітинному, тканинному, органному рівні та організму в цілому. Розглядається природа йонного обміну, біоелектрогенезу, біомеханіки м'язового скорочення і системи кровообігу, сучасних фізичних методів аналізу. Розглянуто застосування фізичних явищ у медичній та фармацевтичній практиці. Підручник компактний, відповідає вимогам Болонської системи освіти.

Для студентів вищого фармацевтичного закладу та фармацевтичних факультетів вищих медичних навчальних закладів III–IV рівнів акредитації.

**УДК 615.1  
ББК 52.5**

ISBN 978-966-382-541-0

© Автори, 2014  
© Нова Книга, 2014

# ЗМІСТ

Передмова .....	10
-----------------	----

## ЧАСТИНА 1. ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ БІОФІЗИКИ

### РОЗДІЛ 1. ЕЛЕМЕНТИ БІОМЕХАНІКИ

1.1. Будова м'язового волокна .....	13
1.2. Скорочення м'яза .....	17
1.3. Механічні властивості біологічних тканин .....	19
1.4. Рівняння Хілла. Потужність одинарного скорочення .....	27
<i>Контрольні питання</i> .....	28
<i>Тести для самоконтролю</i> .....	29
<i>Приклади розв'язування задач</i> .....	31
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> .....	32
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> .....	32

### РОЗДІЛ 2. ТЕРМОДИНАМІКА БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

2.1. Перший закон термодинаміки для біологічних систем .....	36
2.2. Другий закон термодинаміки для біологічних систем .....	37
2.3. Термодинамічні потенціали .....	40
2.4. Швидкість зростання ентропії та дисипативна функція .....	44
2.5. Спряжені процеси .....	46
2.6. Засади лінійної нерівноважної термодинаміки. Рівняння Онзагера .....	47
2.7. Критерії досягнення й усталеності стаціонарних станів .....	51
<i>Контрольні питання</i> .....	53
<i>Тести для самоконтролю</i> .....	53
<i>Приклади розв'язування задач</i> .....	56
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> .....	58
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> .....	59

### РОЗДІЛ 3. БІОФІЗИЧНІ ОСНОВИ МЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ

3.1. Структура мембран .....	61
3.2. Штучні мембранні структури .....	66

3.3. Фазові переходи в мембранах . . . . .	69
3.4. Транспортування речовин крізь біологічні мембрани . . . . .	74
3.5. Пасивне транспортування нейтральних частинок . . . . .	75
3.6. Пасивне транспортування йонів . . . . .	78
3.7. Рівняння Нернста . . . . .	82
3.8. Рівновага Доннана . . . . .	84
3.9. Йонне транспортування через канали . . . . .	86
3.10. Пасивне транспортування речовин за допомогою переносників . . . . .	90
3.11. Індуковане йонне транспортування . . . . .	93
3.12. Активне транспортування . . . . .	96
3.13. Вторинно-активне транспортування . . . . .	101
3.14. Потенціал спокою . . . . .	102
3.15. Потенціал дії . . . . .	107
3.16. Подразнення мембрани електричним струмом . . . . .	109
3.17. Поширення збудження по нервовому волокну . . . . .	111
3.18. Швидкість проведення нервового імпульсу . . . . .	114
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	115
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	116
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	123
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	125
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	126

#### РОЗДІЛ 4. ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИН

4.1. Електричний диполь. Струмний диполь . . . . .	127
4.2. Фізичні основи електрокардіографії . . . . .	128
4.3. Вплив постійного електричного струму на біологічні тканини . . . . .	133
4.4. Вплив змінного струму на біологічні тканини . . . . .	135
4.5. Магнітні властивості біологічних тканин . . . . .	138
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	144
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	144

<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	148
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	150
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	150

## РОЗДІЛ 5. БІОЛОГІЧНА ДІЯ ФІЗИЧНИХ ЧИННИКІВ

5.1. Ультразвук. Інфразвук. Вібрації . . . . .	152
5.2. Електромагнітна хвиля . . . . .	156
5.3. Механізми впливу змінного електричного і магнітного поля надвисокої частоти (НВЧ) на біологічні об'єкти . . . . .	157
5.4. Спонтанне та індуковане випромінювання . . . . .	160
5.5. Оптичний квантовий генератор – лазер. Основні характеристики лазерного випромінювання. Властивості лазерного випромінювання . . . . .	162
5.6. Біофізичний механізм дії лазерного випромінювання на біологічні тканини . . . . .	166
5.7. Радіоактивність. Основні види радіоактивного розпаду . . . . .	168
5.8. Основний закон радіоактивного розпаду . . . . .	171
5.9. Дозиметрія йонізуючого випромінювання . . . . .	173
5.10. Біологічна дія йонізуючого випромінювання . . . . .	178
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	179
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	180
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	189
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	192
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	193

## РОЗДІЛ 6. ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ БІОФІЗИКИ

6.1. Будова атома по теорії Бора. Випромінювання та поглинання енергії атомами та молекулами . . . . .	195
6.2. Основні поняття квантової механіки . . . . .	202
6.3. Основне рівняння квантової механіки – рівняння Шредінгера . . . . .	204
6.4. Рівняння Шредінгера для атома водню (Гідрогену) . . . . .	206
6.5. Багатоелектронні атоми . . . . .	208
6.6. Первинні стадії фотобіологічних процесів . . . . .	210

6.7. Електронні переходи в біологічно важливих молекулах . . . . .	212
6.8. Поглинання світла біосистемами . . . . .	220
6.9. Теплове випромінювання . . . . .	222
6.10. Явище люмінесценції . . . . .	226
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	231
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	232
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	237
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	239
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	240

## **ЧАСТИНА 2. ОСНОВИ ПРИКЛАДНОЇ БІОФІЗИКИ**

### **РОЗДІЛ 7. ОСНОВИ БІОРЕОЛОГІЇ. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ГЕМОДИНАМІКИ**

7.1. Біофізичні основи реології та гемодинаміки . . . . .	242
7.2. Методи визначення в'язкості рідини . . . . .	245
7.3. Основні показники гемодинаміки . . . . .	246
7.4. Робота серця. . . . .	248
7.5. Пульсова хвиля . . . . .	249
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	250
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	251
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	252
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	256
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	256

### **РОЗДІЛ 8. ЕЛЕМЕНТИ БІОФІЗИКИ СЛУХУ**

8.1. Звук. Фізичні характеристики звуку . . . . .	258
8.2. Фізіологічні характеристики звуку . . . . .	260
8.3. Сприйняття слуху . . . . .	262
8.4. Кодування інформації в слуховому аналізаторі . . . . .	266
8.5. Звукові методи дослідження в медицині. . . . .	267
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	268
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	269

<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	270
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	272
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	272

## РОЗДІЛ 9. ЕЛЕМЕНТИ БІОФІЗИКИ ЗОРУ

9.1. Око – центрована оптична система . . . . .	274
9.2. Недоліки оптичної системи ока . . . . .	282
9.3. Молекулярний механізм зору . . . . .	283
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	284
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	285
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	287
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	289
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	289

## РОЗДІЛ 10. МОДЕЛЮВАННЯ БІОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

10.1. Особливості моделювання фармакокінетичних процесів . . . . .	290
10.2. Однокамерна фармакокінетична модель . . . . .	291
10.3. Фармакокінетична модель з підкамерою . . . . .	296
10.4. Багатокамерні фармакокінетичні моделі . . . . .	299
10.5. Моделі неперервного введення препарату . . . . .	301
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	304
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	304
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	306
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	309
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	309

## РОЗДІЛ 11. ЕЛЕМЕНТИ БІОФІЗИКИ ОРГАНІВ ЧУТТЯ

11.1. Біофізичні особливості відчуття смаку, нюху та дотику . . . . .	310
11.2. Сприйняття смаку . . . . .	312
11.3. Орган нюху . . . . .	316
11.4. Відчуття дотику . . . . .	319
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	322
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	322
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	324

<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	325
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	325

**РОЗДІЛ 12. ЕЛЕМЕНТИ БІОФІЗИКИ ОРГАНІВ  
ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ**

12.1. Механічні процеси в легенях . . . . .	327
12.2. Розтяжність легень . . . . .	331
12.3. Робота дихальних м'язів . . . . .	332
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	333
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	334
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	336
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	337
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	338

**ЧАСТИНА 3. ФІЗИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ  
ТА МЕТРОЛОГІЯ**

**РОЗДІЛ 13. ФІЗИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ  
ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ**

13.1. Спектроскопія у видимій та ультрафіолетовій областях . . . . .	341
13.2. Інфрачервона спектроскопія . . . . .	345
13.3. Спектроскопія комбінаційного розсіювання . . . . .	350
13.4. Спектроскопія ядерного магнітного резонансу . . . . .	356
13.5. Мас-спектроскопія . . . . .	364
13.6. Рентгеноструктурний аналіз . . . . .	370
13.7. Мікроскопічний аналіз . . . . .	376
13.8. Поляриметрія . . . . .	383
13.9. Термічний аналіз . . . . .	388
13.10. Рефрактометрія . . . . .	396
13.11. Хроматографія . . . . .	400
13.12. Фізичні методи у виробництві лікарських засобів . . . . .	405
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	419
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	419



<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	422
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	423
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	424

## РОЗДІЛ 14. ОСНОВИ ТЕОРЕТИЧНОЇ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЇЇ РОЛЬ У ФАРМАЦІЇ

14.1. Визначення метрології як науки. Завдання метрології. Вимірювання фізичної величини . . . . .	425
14.2. Прямі вимірювання . . . . .	429
14.3. Однократне пряме вимірювання . . . . .	430
14.4. Багатократні непрямі вимірювання. Метод обробки даних вимірювань із застосуванням теорії ймовірностей та математичної статистики. . . . .	431
14.5. Математична обробка результатів вимірювань. . . . .	433
14.6. Посередні (непрямі) вимірювання . . . . .	435
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	436
<i>Тести для самоконтролю</i> . . . . .	436
<i>Приклади розв'язування задач</i> . . . . .	440
<i>Задачі для обов'язкового розв'язування</i> . . . . .	441
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> . . . . .	442
<b>Додатки</b> . . . . .	443
<b>Предметний покажчик</b> . . . . .	459
<b>Список літератури</b> . . . . .	463