

Міністерство охорони здоров'я України

# МЕДИЧНА ТА БІОЛОГІЧНА ФІЗИКА

За редакцією професора **О. В. Чалого**

Видання друге

*Підручник для студентів вищих медичних  
навчальних закладів III–IV рівнів акредитації*

Вінниця  
Нова Книга  
2017

УДК 577.3(075.8)  
ББК 28.071я73  
М42

Рекомендовано Міністерством охорони здоров'я України  
як підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів  
III–IV рівнів акредитації

#### Колектив авторів:

**від кафедри мед. і біол. фізики НМУ імені О. О. Богомольця:**

**О. В. Чалий** — зав. каф., член-кор. НАПН України, засл. діяч науки і техніки України, д-р ф.-м. наук, проф.; **Я. В. Цехмістер** — перший проректор, засл. працівник освіти України, д-р пед. наук, канд. ф.-м. наук, проф.; **Б. Т. Агапов** — д-р біол. наук, доц.; **К. О. Чалий** — д-р ф.-м. наук, PhD в інженерії, проф.; **Н. В. Стучинська** — д-р пед. наук, канд. ф.-м. наук, проф.; **А. В. Меленевська** — канд. біол. наук, доц.; **М. І. Мурашко** — канд. техн. наук, доц.; **О. І. Олійник** — канд. ф.-м. наук, доц.; **Н. Ф. Радченко** — канд. хім. наук, доц.;

**від однопрофільних кафедр ВМ(Ф)НЗ України:**

**Книгавко В. Г.** — зав. каф. ХНМУ, д-р біол. наук, проф.; **Личковський Е. І.** — зав. каф. ЛНМУ імені Д. Галицького, канд. техн. наук, доц.; **Лях Ю. Є.** — д-р біол. наук, проф.; **Мойсенко М. І.** — зав. каф. Ів.-Фр. НМУ, д-р ф.-м. наук, проф.; **Сливко Е. І.** — зав. каф. ЗДМУ, д-р біол. наук, проф.; **Тиманюк В. О.** — зав. каф. НФАУ, канд. ф.-м. наук, проф.; **Хаїмзон І. Й.** — д-р. техн. наук, проф.

#### Рецензенти:

**Булавін Л. А.** — зав. каф. молекулярної фізики Київськ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка, академік НАН України, д-р ф.-м. наук, проф.; **Ляшенко О. І.** — академік-секретар НАПН України, д-р пед. наук, проф.; **Калібабчук В. О.** — зав. каф. мед. та заг. хімії НМУ імені О. О. Богомольця, засл. діяч науки і техніки України, д-р хім. наук, проф.

*Видання підготовлено відповідно до наказу МОЗ України  
від 02.06.2010 р. № 502 як базовий національний підручник*

**Медична та біологічна фізика** : підручник для студ. вищих мед.  
М42 (фарм.) навч. заклад. / [О. В. Чалий, Я. В. Цехмістер, Б. Т. Агапов та ін.] ;  
за ред. проф. О. В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця : Нова Книга, 2017.  
— 528 с.

ISBN 978-966-382-608-0

У національному підручнику висвітлено найважливіші аспекти медичної і біологічної фізики у відповідності до вимог кредитно-модульної системи навчання та програми, що затверджена Міністерством охорони здоров'я України. Підручник призначається для студентів вищих медичних (фармацевтичних) закладів освіти України III–IV рівнів акредитації, а також викладачів, науковців і всіх, хто цікавиться сучасним станом медичної та біологічної фізики.

УДК 577.3(075.8)

ББК 28.071я73

ISBN 978-966-382-608-0

© Колектив авторів, 2013  
© Колектив авторів, 2017  
© Нова Книга, 2017

## Зміст

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	9
------------------------	---

### **МОДУЛЬ 1. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

<b>ЛЕКЦІЙНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	12
<b>РОЗДІЛ 1.1. Основи математичного аналізу</b> .....	12
1.1.1. Елементи диференціального числення .....	12
1.1.2. Елементи інтегрального числення.....	26
1.1.3. Поняття про диференціальні рівняння.....	35
<b>РОЗДІЛ 1.2. Основні положення теорії ймовірностей та математичної статистики</b> .....	44
1.2.1. Основи теорії ймовірностей.....	44
1.2.2. Основи математичної статистики. Вибірki, варіанти, гістограми ..	62
1.2.3. Кореляційні залежності, їх характеристики .....	65
<b>ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	67
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.1. Диференціальне числення функції однієї та декількох змінних</b> .....	67
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.2. Інтегральне числення</b> .....	74
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.3. Елементи теорії диференціальних рівнянь</b> .....	80
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.4. Елементи теорії ймовірностей</b> .....	85
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.5. Елементи математичної статистики</b> .....	89
<b>КОНТРОЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	97

### **МОДУЛЬ 2. ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОЇ ФІЗИКИ**

<b>ЛЕКЦІЙНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	116
<b>РОЗДІЛ 2.1. Основні принципи біомеханіки</b> .....	116
2.1.1. Механічні властивості біологічних тканин.....	119
2.1.2. Деформація біологічних тканин .....	124
<b>РОЗДІЛ 2.2. Течія в'язких рідин у біологічних системах</b> .....	127
2.2.1. В'язкість рідини .....	127
2.2.2. В'язкість крові.....	129

2.2.3. В'язкопружні властивості біологічних тканин.....	131
2.2.4. Основні рівняння руху рідини .....	134
2.2.5. Критерії механічної подібності рухомих рідин.....	142
2.2.6. Пульсові хвилі .....	145
РОЗДІЛ 2.3. Механічні коливання.....	147
2.3.1. Гармонічні коливання та їх основні параметри .....	148
2.3.2. Затухаючі коливання й аперіодичний рух.....	152
2.3.3. Вимушені коливання.....	155
2.3.4. Явище резонансу і автоколивання .....	157
2.3.5. Додавання гармонічних коливань .....	159
ГЛАВА 2.4. Механічні хвилі .....	162
2.4.1. Хвильове рівняння. Поздовжні і поперечні хвилі.....	163
2.4.2. Потік енергії хвилі. Вектор Умова.....	164
РОЗДІЛ 2.5. Акустика. Елементи фізики слуху. Основи аудіометрії.....	166
2.5.1. Природа звуку, його основні характеристики (об'єктивні і суб'єктивні).....	166
2.5.2. Закон Вебера – Фехнера.....	171
2.5.3. Ультразвук.....	174
2.5.4. Інфразвук.....	176
РОЗДІЛ 2.6. Будова і властивості біологічних мембран .....	177
2.6.1. Пасивний транспорт незаряджених молекул.....	183
2.6.2. Пасивний транспорт іонів .....	186
2.6.3. Активний транспорт.....	190
РОЗДІЛ 2.7. Біологічні потенціали.....	193
2.7.1. Рівноважний мембранний потенціал Нерста.....	194
2.7.2. Дифузійний потенціал .....	196
2.7.3. Потенціал Доннана. Доннанівська рівновага .....	199
2.7.4. Стаціонарний потенціал Гольдмана – Ходжкіна – Катца .....	201
2.7.5. Потенціал дії. Механізм виникнення і розповсюдження нервового імпульсу .....	205
РОЗДІЛ 2.8. Елементи матеріалознавства .....	213
<b>ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>226</b>
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2.1. Визначення порога чутності аудіометричним методом .....	226
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2.2. Дослідження пружних властивостей біологічних тканин.....	233

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2.3. Визначення залежності коефіцієнта поверхневого натягу рідини від температури і поверхнево-активних речовин .....	239
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2.4. Визначення коефіцієнта в'язкості .....	246
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2.5. Вимірювання концентраційного потенціалу компенсаційним методом .....	252
<b>КОНТРОЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	259

### МОДУЛЬ 3. ОСНОВИ МЕДИЧНОЇ ФІЗИКИ

<b>ЛЕКЦІЙНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	264
<b>РОЗДІЛ 3.1. Електростатика</b> .....	264
3.1.1. Основні характеристики електричного поля .....	264
3.1.2. Електричний диполь .....	268
3.1.3. Електрографія. Фізичні основи електрокардіографії .....	271
3.1.4. Діелектрики, поляризація діелектриків .....	277
3.1.5. Діелектричні властивості біологічних тканин .....	280
3.1.6. П'єзоелектричний ефект .....	283
<b>РОЗДІЛ 3.2. Постійний струм. Електропровідність біологічних тканин</b> ....	284
3.2.1. Характеристики електричного струму .....	284
3.2.2. Електропровідність біологічних тканин і рідин .....	286
3.2.3. Дія постійного і низькочастотного електричного струму на живий організм .....	289
3.2.4. Рівняння електричних коливань .....	291
3.2.5. Вимушені електричні коливання, змінний струм .....	293
3.2.6. Повний опір кола змінного струму (імпеданс). Закон Ома для кола змінного струму .....	297
3.2.7. Імпеданс біологічних тканин .....	298
3.2.8. Електромагнітні хвилі. Струм зміщення .....	301
3.2.9. Рівняння Максвелла .....	304
3.2.10. Плоскі електромагнітні хвилі. Вектор Умова – Пойнтінга .....	307
3.2.11. Шкала електромагнітних хвиль .....	309
<b>РОЗДІЛ 3.3. Магнітне поле</b> .....	312
3.3.1. Магнітне поле у вакуумі та його характеристики .....	312
3.3.2. Закон Біо – Савара – Лапласа .....	314
3.3.3. Дія магнітного поля на рухомий електричний заряд. Сила Ампера і сила Лоренца .....	316

3.3.4. Магнітні властивості речовини.....	319
3.3.5. Магнітні властивості тканин організму, фізичні основи магнітобіології.....	325
РОЗДІЛ 3.4. Електронна медична апаратура.....	326
3.4.1. Загальна інформація про електронну медичну апаратуру (ЕМА).....	326
3.4.2. Класифікація електронної медичної апаратури.....	328
3.4.3. Техніка безпеки.....	329
3.4.4. Правила безпеки.....	330
3.4.5. Технічні характеристики ЕМА.....	331
РОЗДІЛ 3.5. Фізичні основи оптичної мікроскопії, рефрактометрії та поляриметрії.....	334
3.5.1. Ідеальна центрована оптична система.....	334
3.5.2. Оптична мікроскопія.....	338
3.5.3. Поляризація світла.....	341
3.5.4. Поляризація світла при відбиванні та заломленні.....	342
3.5.5. Поляризація при подвійному променезаломленні в кристалах.....	343
3.5.6. Поляризація світла при проходженні через поглинаючі анізотропні речовини.....	346
3.5.7. Обертання площини поляризації оптично активними речовинами.....	347
3.5.8. Взаємодія світла з речовиною. Поглинання світла.....	348
3.5.9. Розсіяння світла.....	353
РОЗДІЛ 3.6. Фізичні основи термографії, закони теплового випромінювання.....	355
3.6.1. Теплове випромінювання.....	355
3.6.2. Закон Кірхгофа.....	358
3.6.3. Закон випромінювання Планка.....	359
3.6.4. Закон Стефана – Больцмана.....	360
3.6.5. Закон зміщення Віна.....	361
3.6.6. Інфрачервоне випромінювання.....	364
3.6.7. Ультрафіолетове випромінювання.....	364
РОЗДІЛ 3.7. Елементи квантової механіки.....	365
3.7.1. Місце квантової механіки в системі наук про рух тіл.....	365
3.7.2. Гіпотеза де Бройля.....	367
3.7.3. Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.....	370
3.7.4. Основне рівняння квантової механіки – рівняння Шредінгера.....	371
3.7.5. Рівняння Шредінгера для атома водню (Гідрогену).....	373

РОЗДІЛ 3.8. Випромінювання і поглинання енергії	
атомами і молекулами .....	376
3.8.1. Атомні спектри .....	376
3.8.2. Молекулярні спектри .....	378
3.8.3. Люмінесценція.....	382
3.8.4. Види люмінесценції .....	383
3.8.5. Фотолюмінесценція, закон Стокса.....	384
3.8.6. Механізми люмінесценції.....	386
3.8.7. Індуковане випромінювання .....	388
3.8.8. Рівноважна та інверсна заселеність.....	389
3.8.9. Будова і принцип дії лазера .....	391
3.8.10. Електронний парамагнітний резонанс, ядерний магнітний резонанс і їх медико-біологічне застосування .....	393
3.8.11. Метод електронного парамагнітного резонансу.....	393
3.8.12. Метод ядерного магнітного резонансу.....	398
РОЗДІЛ 3.9. Природа рентгенівських променів і методи їх отримання .....	402
3.9.1. Гальмівне рентгенівське випромінювання.....	405
3.9.2. Характеристичне рентгенівське випромінювання, його природа .....	407
3.9.3. Радіоактивність, її властивості.....	409
3.9.4. Основний закон радіоактивного розпаду, період напіврозпаду, активність.....	413
3.9.5. Правила зміщення, особливості спектрів при радіоактивному розпаді .....	417
3.9.6. Експозиційна доза, її потужність, одиниці .....	421
3.9.7. Поглинена доза, її потужність, одиниці .....	423
3.9.8. Еквівалентна доза, її потужність, одиниці .....	425
3.9.9. Дозиметрія іонізуючого випромінювання.....	428
3.9.10. Первинні фізичні механізми взаємодії рентгенівського випромінювання з речовиною .....	430
3.9.11. Первинні механізми дії радіоактивного випромінювання та потоків частинок на речовину .....	435
<b>ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>440</b>
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.1. Робота з електрокардіографом .....	440
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.2. Робота з реографом.....	448
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.3. Дослідження дисперсії імпедансу біологічних тканин .....	457

---

СЕМІНАР. Взаємодія електромагнітного поля з біологічними тканинами .....	463
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.4. Робота з фізіотерапевтичною апаратурою .....	474
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.5. Вивчення роботи мікроскопа та вимірювання мікрооб'єктів .....	487
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.6. Визначення концентрації розчинів рефрактометричним методом .....	492
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.7. Визначення концентрації розчину поляриметричним методом.....	497
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.8. Робота з оптичним квантовим генератором .....	504
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.9. Визначення коефіцієнта лінійного ослаблення гамма-випромінювання.....	509
<b>КОНТРОЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>516</b>
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....</b>	<b>521</b>
<b>ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК .....</b>	<b>524</b>



*Навчальне видання*

**Чалий** Олександр Васильович  
**Цехмістер** Ярослав Володимирович  
**Агапов** Борис Терентійович та ін.

## **Медицина та біологічна фізика**

Підручник

Редактор *О. В. Марчук*  
Технічний редактор *Ж. С. Швець, Ю. П. Тертун*  
Коректор *Л. Я. Шутова*  
Комп'ютерна верстка: *Г. А. Пешков*

Підписано до друку 12.09.16. Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Таймс. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 33,13.  
Тираж 700 пр. Зам. № 868.

ПП "Нова Книга"  
21029, м. Вінниця, вул. Квятека, 20  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників  
і розповсюджувачів видавничої продукції  
ДК № 2646 від 11.10.2006 р.  
Тел. (0432) 52-34-80, 52-34-82. Факс 52-34-81  
E-mail: [info@novaknyha.com.ua](mailto:info@novaknyha.com.ua)  
[www.novaknyha.com.ua](http://www.novaknyha.com.ua)