



MEDICAL & BIOLOGICAL PHYSICS

Textbook

UKRAINIAN MINISTRY OF PUBLIC HEALTH
KHARKIV NATIONAL MEDICAL UNIVERSITY

MEDICAL AND BIOLOGICAL PHYSICS

*Textbook for students
studying the subject in English*

Textbook

Fourth edition

*Approved
by the Central Methodical Committee of Higher Medical Education of
Ministry of Public Health of Ukraine as a Manual for students of
the Higher Medical Schools of the IV degree of Accreditation
studying the subject in English*

Kharkiv 2012

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕДИЧНА І БІОЛОГІЧНА ФІЗИКА

*Навчальний посібник для студентів,
які навчаються англійською мовою*

Лекції

Видання четверте, перероблене і доповнене

Затверджено
Центральним методичним кабінетом з вищої
медичної освіти МОЗ України як навчальний посібник
для студентів вищих медичних навчальних закладів IV рівня акредитації,
які опановують навчальну дисципліну англійською мовою

Харків 2012

ББК 5:22.3:28.0я7

УДК 61:[53+57](075)

М 42

Approved by the CMC of HME of Ukraine

Referees:

Gordiyenko E. O., Dr. Sci. (Biology), professor of Department of Biological and Medical Physics (Kharkiv National University named after V.N. Karazin);

Lapta S.I., Dr. Sci. (Technical), professor, Chief of Department of Physics and Electronics (Kharkiv National Economic University)

М 42 Medical and Biological Physics: Textbook for students studying the subject in English: In 2 parts/ V.G. Knigavko, O.V. Zaytseva, M.A. Bondarenko. - Kharkiv: Kh.N.M.U., 2012.- Lectures. – 556 p.

ISBN 978-966-2094-14-5

ISBN 978-966-2094-15-2

The textbook covers topics in medical and biological physics and presents key concepts in higher mathematics, the theory of probability and mathematical statistics in compliance with the new typical syllabus for the subject «Medical and Biological Physics» for students of higher medical education establishments approved by the Ukrainian Ministry of Public Health and CMC for higher medical education. A feature of this textbook is that it is an integral part of all-in-one edition containing theoretical material (Textbook), and laboratorial and practical material (Workbook). The textbook is intended for students studying in English in higher medical educational establishments as well as for instructors.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any material form (including photocopying or storing in any medium by electronic means and whether or not transiently or incidentally to some other use of this publication) without the written permission of the publishers.

ISBN 978-966-2094-14-5

ISBN 978-966-2094-15-2

© Kharkiv State Medical
University, 2004
© Kharkiv National
Medical University, 2007
© Kharkiv National
Medical University, 2009
© Kharkiv National
Medical University, 2012

ББК 5:22.3.28.0я7

УДК 61:[53+57](075)

М 42

Затверджено ЦМК з ВМО МОЗ України

Рецензенти:

Гордієнко Є.О., доктор біологічних наук, професор кафедри біологічної і медичної фізики Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна;

Латина С.І., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики і електроніки Харківського національного економічного університету

М 42 Медична і біологічна фізика: Навчальний посібник для студентів, які навчаються англійською мовою: В 2 ч./ В.Г. Книгавко, О.В. Зайцева, М.А.Бондаренко. - Харків: ХНМУ, 2012. - Лекції. – 556 с.

ISBN 978-966-2094-14-5

ISBN 978-966-2094-15-2

У навчальному посібнику викладені питання медичної і біологічної фізики, а також основні поняття вищої математики, теорії ймовірностей і математичної статистики відповідно до нової типової програми з дисципліни «Медична і біологічна фізика» для студентів вищих медичних навчальних закладів, затвердженої МОЗ України і ЦМК з вищої медичної освіти. Даний посібник – це перша частина єдиного блоку теоретичного матеріалу (лекції) і лабораторно-практичного матеріалу (робочий зошит). Призначений для студентів, які навчаються англійською мовою у вищих медичних навчальних закладах, а також для викладачів.

ISBN 978-966-2094-14-5

ISBN 978-966-2094-15-2

© Харківський державний
медичний університет, 2004
© Харківський національний
медичний університет, 2007
© Харківський національний
медичний університет, 2009
© Харківський національний
медичний університет, 2012

Contents

Foreword	11
Chapter 1. Elements of Higher Mathematics	19
1.1. Differential Calculus	37
1.2. Integral Calculus	53
1.3. Some Differential Equations	72
Chapter 2. Elements of the Theory of Probability	89
Chapter 3. Random Variables	108
Chapter 4. Elements of Mathematical Statistics	108
4.1. Key Concepts in Mathematical Statistics	112
4.2. Methods of Point Estimating of the Statistical Characteristics of a Random Value by a Sample	114
4.3. Method of Interval Estimating of the Statistical Characteristic of a Random Value by a Sample	116
4.4. Testing of Statistical Hypotheses	122
Chapter 5. Correlation Dependence between Random Variables. Regression	123
5.1. Estimating of Regression Function by Sample	128
5.2. Method of Estimating of Correlation Dependence between Qualitative (not quantitative) Attributes	132
Chapter 6. Methods of Data Processing	132
6.1. Basic Concepts	137
6.2. Treatment of Direct Measurements	139
6.3. Treatment of Indirect Measurements	141
6.4. Treatment of Joint Measurements	147
Chapter 7. Basics of Cybernetics and Informatics	159
Chapter 8. Fundamentals of Biomechanics	159
8.1. Rotation	160
8.2. Angular Displacement	161
8.3. Angular Velocity	164
8.4. Kinetic Energy of Rotation	165
8.5. Torque (Torsional moment)	166
8.6. Elastic Properties of Solids. Elasticity	174
8.7. Mechanical Properties of Biological Tissue	188
8.8. Some Partial Issues in Biomechanics	192
8.9. Dental materials	204
Chapter 9. Foundations of Biorheology and Haemodynamics	204
9.1. Basic Concepts and Formulae of Hydrodynamics	211
9.2. Foundations of Biorheology	217
9.3. Haemodynamics	224
Chapter 10. Mechanical Vibrations and Waves	225
10.1. Free Undamped Oscillations (Simple Harmonic Motion)	228
10.2. The Velocity and Acceleration of Harmonic Motion	230
10.3. Energy in Simple Harmonic Motion	

10.4. Damped Simple Harmonic Motion.....	232
10.5. Forced Oscillations and Resonance.....	237
10.6. Mechanical Waves.....	240
10.7. Autooscillations.....	245
Chapter 11. Bioacoustics.....	247
11.1. Nature of Sound. Physical Characteristics of Sound.....	247
11.2. Auditory Sensation Characteristics. Weber-Fechner Law.....	252
11.3. Sound Methods of Clinical Examination.....	257
11.4. Ultrasound. Ultrasound for Medical Applications.....	260
11.5. Infrasound.....	263
11.6. Influence of Noise on Man.....	264
11.7. Human Auditory Apparatus.....	265
Chapter 12. Biological Thermodynamics.....	269
12.1. Basic Concepts of Thermodynamics.....	269
12.2. Classes and States of Thermodynamic Systems.....	271
12.3. First Law of Thermodynamics.....	273
12.4. Sources of Energy in Human Organism.....	275
12.5. Hess' Law.....	279
12.6. Reversible and Irreversible Processes.....	281
12.7. Entropy. Second Law of Thermodynamics.....	284
12.8. Thermodynamic Potentials.....	287
12.9. Homeostasis. Prigogine's Theorem.....	293
Chapter 13. Biophysics of Macromolecules.....	296
Chapter 14. Membrane Transport. Biopotentials.....	313
14.1. Structure of Biological Membranes.....	313
14.2. Mechanisms of Substance Transport across the Membrane.....	316
14.3. Biopotentials.....	323
Chapter 15. Physical Principles of Electrocardiography.....	328
15.1. Some Fundamental Notions of Electrodynamics.....	328
15.2. Einthoven Theory.....	337
Chapter 16. Electrical Currents and Electromagnetic Fields Effects on Biological Objects.....	357
16.1. Electrical Characteristics of Biological Tissues.....	357
16.2. Direct Current Effect on Biological Tissues.....	360
16.3. Pulse Current Effect on Biological Tissues.....	363
16.4. Alternating Current Effect on Biological Tissues.....	369
16.5. Alternating Electromagnetic Field Effect on Biological Tissues.....	373
16.6. Direct Electric and Magnetic Fields Effect on Biological Tissues.....	379
16.7. Magnetic Phenomena. Elements of Magnetic Biology.....	381

Chapter 17. Medical Electronics	395
17.1. Tasks of Medical Electronics. Classification of Electronic Medical Equipment	395
17.2. Electrical Safety of Electronic Medical Equipment	397
17.3. Reliability of Electronic Medical Equipment	399
17.4. Metrological Service for the Public Health Sector	402
17.5. Electrodes and Sensors	403
17.6. Electric Signal Amplifiers	406
17.7. Generators	409
Chapter 18. Optics	410
18.1. Some Concepts and Practical Applications of Geometrical Optics	410
18.2. Thin Lenses. Lens Aberrations	416
18.3. Light Conducting and Light Perceiving Systems of Human Eye	424
18.4. Sensitivity of Eye to Colour and Light	428
18.5. Human Eye as an Optical System	432
18.6. Eye Defects	436
18.7. Optical Microscope	439
18.8. Some Special Methods of Optical Microscopy	445
18.9. Polarization of Light	449
18.10. Absorption and Scattering of Light	461
Chapter 19. Fundamentals of Photometry	464
Chapter 20. Elements of Photobiology	470
20.1. Basic Concepts	470
20.2. Photobiological Action Spectra and their Relation to Absorption Spectra	473
20.3. Photosensitised Photo Biological Processes	475
20.4. Biophysics of Visual Reception	478
Chapter 21. Ionizing Radiation	482
21.1. X-radiation	482
21.1.1. Bremsstrahlung Braking X-radiation	483
21.1.2. Characteristic X-radiation	487
21.1.3. Interaction of X-radiation with Material	488
21.1.4. The Application of X-radiation in Medicine	490
21.2. Other Types of Ionizing Radiation	493
21.3. Dosimetry	502
Chapter 22. Elements of Radiobiology	510
Chapter 23. Thermal Radiation	519
23.1. Basic Concepts	519
23.2. Black-Body. Kirchhoff's Law	522
23.3. Laws of Black-Body Radiation	524

23.4. Thermography.....	528
Chapter 24. Medical and Biological Application of Quantum Mechanics	
Phenomena.....	531
24.1. Aspects of Quantum Mechanics.....	531
24.2. Adsorption and Emission Spectroscopy.....	535
24.3. Luminescence.....	537
24.4. Magnetic Resonance Spectroscopy.....	540
24.5. Laser Radiation.....	546
24.6. Electronic Microscope.....	550
Appendix.....	552

FOREWORD

Achievements in modern medicine are substantially linked to progress in biophysics, cybernetics and informatics, and medical electronics. Medical and biological physics methods are a basis for developing new techniques in diagnostics and treatment. These methods are being widely introduced into the practice of research laboratories because, in many cases, an understanding of the origin of diseases is based on identifying their biophysical mechanisms. This explains the necessity for students of medical universities to study the basic concepts of medical and biological physics.

To date in Ukraine no medical and biological physics text-books have been published for foreign students studying in English in higher medical education establishments. There is a feeling that it is necessary to publish such textbooks in English. In these textbooks, the basic material of the subject "Medical and Biological Physics" would be presented in a sufficiently straightforward and concise form. So this was the cause of preparing this edition.

In preparing the textbook for printing, the authors followed the typical syllabus for the subject "Medical and Biological Physics" for students of higher medical education establishments approved by the Ukrainian Ministry of Public Health and CMC for Higher Medical Education.

The textbook consists of two parts. Part I comprises 24 chapters and presents theoretical material for the course "Medical and Biological Physics".

Chapters 1 - 6 contain information on the fundamentals of higher mathematics, the theory of probability and mathematical statistics. The first to be presented are concepts in higher mathematics since understanding the key sections of medical and biological physics at an up-to-date level is impossible without a priori mastering of the mathematical apparatus. Modern medical science is inconceivable without an extensive and qualified application of the methods of mathematical statistics, which, in turn, is based on the basic concepts and formulas of the theory of probability.

Medical cybernetics and informatics concepts are presented in Chapter 7 in concise form since the syllabus provides for their study in greater detail in the special course of «Medical Informatics».

Chapters 8 - 11 present material on biomechanics, biorheology and haemodynamics, mechanical vibrations and waves, and bioacoustics and describe the relevant investigation methods used in medicine.

Chapters 12 through 14 contain fundamentals of biological thermodynamics, biophysics of macromolecules, and membrane transport.

Chapters 15 through 17 deal with electrical and magnetic phenomena in biological systems. The mechanisms and methods of action of electric currents and electromagnetic fields on biological systems for diagnostics and treatment are considered here. Key concepts in medical electronics are also presented in concise form.

Chapters 18 through 24 present material on physical and physiological optics, radiation biophysics, and the application of quantum physics techniques for solving medical and biological problems.

Part II of the textbook is a laboratory practical work guide in the subject of «Medical and Biological Physics», which corresponds to the theoretical material presented in Part I. Students' practical work is known to be of critical importance because, in making experiments individually, they not only assimilate the theoretical material better, but acquire relevant practical skills.

The authors offer a package of eleven laboratory works focused to studying the physical methods of investigating the properties of biological objects with a view to use the skills obtained in future medical practice. Each section contains instructions on preparing for the work, the procedure of its performing, and relevant theoretical information and test questions.

When compiling this textbook, the authors used material from methodical manuals developed by the instructors of the Chair of Medical and Biological Physics, and Medical Informatics of the Kharkiv National Medical University. These manuals were tested and approved during practical work and lectures. Additional special literature was also used.

The authors express their sincere gratitude to the Chair staff that focused their efforts on developing and implementing the laboratory practical work guide in the academic process.

We are sincerely grateful to Professor E.O. Gordiyenko and Professor S.I. Lapta for their qualified and thorough review.

The textbook is intended for students studying in English, and instructors of higher medical education establishments. We hope that it will benefit future doctors by instilling in them the knowledge of the fundamentals of biophysical science; the basic principles of biophysical investigation methods, and diagnostics and treatment; and the principles of proper use of medical equipment; and that it will increase their awareness of the biophysical aspect in their future medical and biological research activities.

Authors

ПЕРЕДМОВА

Досягнення сучасної медицини в значній мірі зобов'язані успіхам біології, фізики, комп'ютерної техніки й інформатики, медичного приладобудування. Методи біофізики широко впроваджуються в практику дослідницьких лабораторій і є основою для розробки нових методів діагностики і лікування в клініці, оскільки природа захворювань і механізм одужання в багатьох випадках мають біофізичне пояснення. Саме тому студентам медичних університетів необхідні загальні і спеціальні знання в області медичної і біологічної фізики.

На жаль, ще не видані навчальні посібники з медичної і біологічної фізики для іноземних студентів, що навчаються англійською мовою у вищих медичних закладах, у яких у досить простій і стислій формі був би представлений матеріал програми дисципліни «Медична і біологічна фізика» з відображенням її особливостей. Автори ставили перед собою ціль ліквідувати цей недолік.

Основою навчального посібника є типова програма з дисципліни «Медична і біологічна фізика» для студентів вищих медичних навчальних закладів, затверджена МОЗ України і ЦМК з вищої медичної освіти.

Навчальний посібник складається з двох частин. У першу частину, яка вміщує 24 розділи, включено теоретичний матеріал за курсом «Медична і біологічна фізика».

Розділи 1 – 6 містять відомості з основ вищої математики, теорії ймовірностей, математичної статистики і кореляційного аналізу. Виклад цих питань у курсі медичної і біологічної фізики обумовлений досить широким використанням математичних методів у сучасній медицині. Крім того, повноцінне вивчення біофізичних питань вимагає відповідної фізико-математичної підготовки, яку студенти медичних вузів не одержують у спеціальному курсі. Цей недолік у їхніх знаннях приходить ся ліквідовувати на початковому етапі вивчення даної дисципліни. Весь розглянутий матеріал математичного характеру цілком відповідає типовій програмі.

Деякі основні питання кібернетики й інформатики розглядаються в 7 розділі, що обумовлено широким поширенням інформаційних технологій у медико-біологічних дослідженнях.

У 8 - 11 розділах представлено матеріал з біомеханіки, механічних коливань та хвиль, біоакустики, біореології і гемодинаміки, а також відповідні методи, які використовуються в медико-біологічних дослідженнях.

Розділи 12 – 14 містять основи біологічної термодинаміки, біофізики макромолекул та мембранного транспорту.

Розділи 15 – 17 присвячені електричним та магнітним явищам у біологічних системах. Розглянуто механізми і методи впливу на них електричним струмом і електромагнітними полями з діагностичною і терапевтичною метою. Коротко представлено матеріал з медичної електронної апаратури.

У розділах 18 – 24 викладаються відомості з геометричної і хвильової оптики, біофізичних основ зорової рецепції, з радіаційної

біофізики. Особлива увага приділена питанням дозиметрії і використання іонізуючих випромінювань у медичній практиці. Тут також розглянуті основи квантово-механічних явищ і їхнє медико-біологічне застосування.

Друга частина навчального посібника – це лабораторний практикум з дисципліни «Медична і біологічна фізика», який відповідає лекційному матеріалу, викладеному в першій частині посібника. Відомо, що практична робота студентів має особливе значення, тому що, проводячи експеримент самостійно, вони не тільки краще засвоюють теоретичний матеріал, але й здобувають практичні навички.

Автори пропонують блок з одинадцяти лабораторних занять, у яких основна увага приділяється вивченню фізичних методів дослідження властивостей і характеристик біологічних об'єктів з метою подальшого використання отриманих навичок у медичній практиці. Кожна робота містить вказівки по підготовці до роботи, послідовності її виконання, необхідні теоретичні відомості і контрольні питання.

При створенні даного навчального посібника були використані матеріали методичних посібників, розроблених викладачами кафедри медичної та біологічної фізики і медичної інформатики Харківського національного медичного університету й апробованих на практичних і лекційних заняттях, а також додаткова спеціальна література.

Автори приносять щиру подяку всім співробітникам кафедри за їхню працю по створенню і впровадженню лабораторного практикуму в навчальний процес.

Виражаємо щиру вдячність за кваліфіковане і ретельне рецензування професорові Гордієнку Євгену Олександровичу і професорові Лапті Сергію Івановичу.

Навчальний посібник адресований студентам, які навчаються англійською мовою, і викладачам вищих медичних навчальних закладів. Ми сподіваємося, він збагатить майбутніх лікарів знанням основ біофізичної науки, основних принципів біофізичних методів дослідження, діагностики і терапії, принципів правильного використання медичної апаратури, а також навчить бачити біофізичний аспект у їхніх подальших медико-біологічних дослідженнях.

Автори

Chapter 1

ELEMENTS OF HIGHER MATHEMATICS

In this chapter some questions of higher mathematics (namely, elements of differential calculus, elements of integral calculus, and the differential equations) are briefly stated.

The material is stated in the amount necessary for mastering of the subsequent sections of a course «Medical and Biological Physics». Partly it is devoted to recurrence of the material taught in secondary schools.

1.1. DIFFERENTIAL CALCULUS

Notion of Derivative

Let a function $y = f(x)$ be given. An increment of this function $\Delta y = f(x + \Delta x) - f(x)$ corresponds to an increment of its argument Δx . Then *the derivative of the function y with respect to the argument x (usually designated y') is the limit of the ratio of the increment of the function Δy to the corresponding increment of the argument Δx when the increment of the argument Δx approaches zero:*

$$y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}.$$

Other designations of the derivative are used also:

Not all pages are available

Навчальне видання

Кнігавко Володимир Гілярійович
Зайцева Ольга Василівна
Бондаренко Марина Анатоліївна

МЕДИЧНА І БІОЛОГІЧНА ФІЗИКА

*Навчальний посібник для студентів,
які навчаються англійською мовою*

Лекції

Відповідальний за випуск Бондаренко М.А.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 32,32. Тир. 300 прим. Зам. № 305-12.
Підписано до друку 17.09.12. Папір офсетний.

Надруковано з манети замовника у СПД ФО Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30.
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК № 3587 від 23.09.09 р.