

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра электронной техники и технологии БГУИР

## **МЕДИЦИНСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего образования  
по специальностям «Медицинская электроника»,  
«Биотехнические и медицинские аппараты и системы»*

Минск БГУИР 2014

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>От авторов.....</b>	<b>3</b>
<b>Раздел 1. Биомеханика.....</b>	<b>4</b>
1.1. Кинематика и динамика движений.....	5
1.2. Механические свойства биологических тканей.....	12
1.2.1. Физические основы воздействия механических нагрузок на вещество.....	12
1.2.2. Особенности механических свойств биологических тканей.....	17
1.2.3. Механические свойства костной ткани.....	24
1.2.4. Механические свойства хрящевой ткани (суставного хряща).....	32
1.2.5. Механические свойства мягких биологических тканей, тканей кровеносных сосудов.....	34
1.2.6. Механические свойства кожи.....	39
1.3. Биомеханика кровообращения.....	44
1.3.1. Характеристики течения жидкостей, условие неразрывности струи, идеальная жидкость, уравнение Бернулли.....	46
1.3.2. Элементы гидродинамики вязкой жидкости.....	52
1.3.3. Закономерности движения крови по сосудам (большой круг кровообращения).....	62
1.4. Биомеханика внешнего дыхания.....	72
1.4.1. Физическая природа поверхностных явлений.....	73
1.4.2. Физические закономерности, определяющие механизмы вдоха и выдоха.....	79
Контрольные вопросы к разделу «Биомеханика».....	82
<b>Раздел 2. Акустика. Ультразвук и его медицинское применение.....</b>	<b>85</b>
2.1. Природа акустических волн.....	85
2.1.1. Классификация звуков.....	86

2.1.2. Физические характеристики звуковых волн и характеристики слухового ощущения .....	87
2.1.3. Отражение и поглощение акустических волн .....	93
2.1.4. Механизм восприятия звука .....	94
2.1.5. Звуковые методы исследования в медицине .....	97
2.2. Ультразвук и его медицинское применение .....	99
2.2.1. Получение и регистрация ультразвука .....	99
2.2.2. Характерные свойства ультразвука, определяющие его применение в медицине .....	101
2.2.3. Использование ультразвука в медицинской диагностике .....	103
2.3. Вибрации. Их действие на организм человека. ....	111
Контрольные вопросы к разделу «Акустика. Ультразвук и его медицинское применение» .....	113
<b>Раздел 3. Биофизика мембран</b> .....	115
3.1. Структура и свойства биологических мембран .....	115
3.1.1. Некоторые физические методы исследования мембран .....	119
3.2. Транспорт молекул и ионов через мембраны .....	124
3.2.1. Пассивный транспорт веществ .....	125
3.2.2. Физические основы и математическое описание процесса пассивного транспорта .....	127
3.2.3. Активный транспорт ионов. Механизм активного транспорта ионов на примере натрий-калиевого насоса .....	132
3.3. Мембранные потенциалы клетки .....	134
3.3.1. Равновесные потенциалы. Уравнение Нернста .....	136
3.3.2. Потенциал покоя клетки .....	137
3.4. Закономерности возбуждения тканей электрическим током .....	138
3.4.1. Критический потенциал возбуждения. Генерация потенциала действия, его характеристики .....	139

3.4.2. Распространение потенциала действия по аксонам.....	143
3.5. Элементы биофизики мышечного сокращения.....	146
3.5.1. Структура поперечно-полосатой мышцы.....	146
3.5.2. Электромеханическое сопряжение в мышцах.....	148
3.6. Биофизические основы зрительной рецепции.....	150
3.6.1. Светопреломляющая система глаза.....	150
3.6.2. Строение сетчатки и светочувствительных клеток.....	152
3.6.3. Биофизика фоторецепции.....	154
Контрольные вопросы к разделу «Биофизика мембран».....	157
<b>Раздел 4. Биологическая электродинамика.....</b>	<b>159</b>
4.1. Собственные электрические поля тела человека. Физические основы электрографии органов и тканей.....	159
4.1.1. Электрический диполь, электрическое поле диполя, токовый диполь.....	159
4.1.2. Физические основы электрокардиографии.....	164
4.1.3. Метод исследования электрической активности головного мозга – электроэнцефалография (ЭЭГ).....	172
4.2. Собственные магнитные поля тела человека. Магнитодиагностика.....	173
4.2.1. Физические основы магнитокардиографии.....	174
4.2.2. Метод исследования магнитной активности головного мозга – магнитоэнцефалография (МЭГ).....	177
4.3. Электрические и магнитные свойства тканей организма.....	179
4.3.1. Особенности электропроводимости биологических тканей.....	179
4.3.2. Электропроводность биологических тканей для постоянного тока.....	181
4.3.3. Лечебные методы, основанные на использовании постоянного тока.....	184

4.3.4. Электропроводность биологических тканей для переменного тока.	
Эквивалентная электрическая схема живой ткани. Физические основы реографии (импедансной плетизмографии)	186
4.3.5. Магнитные свойства тканей и органов и действие на них внешнего магнитного поля	194
4.4. Физические основы электростимуляции тканей и органов	196
4.4.1. Параметры импульсного сигнала прямоугольной и произвольной формы	198
4.4.2. Числовые значения параметров импульсов при электростимуляции. Закон Дюбуа-Реймона	200
4.4.3. Зависимость возбуждения от длительности импульса. Кривая электровозбудимости. Реобаза и хронаксия. Понятие о хронаксиметрии	201
4.4.4. Блок-схема электростимулятора	203
4.4.5. Примеры использования электростимуляции органов и тканей	204
4.5. Биологическое действие токов и электромагнитных полей высокой, ультравысокой, сверхвысокой и крайне высокой частоты	205
4.5.1. Диатермия	207
4.5.2. Индуктотермия	211
4.5.3. УВЧ-терапия	212
4.5.4. Микроволновая терапия	215
4.6. Нетепловые физиотерапевтические процедуры, в которых используются токи высокой и крайне высокой частоты	217
4.6.1. Местная дарсонвализация	218
4.6.2. Крайне высокочастотная терапия (КВЧ-терапия)	219
Контрольные вопросы к разделу «Биологическая электродинамика»	221
<b>Раздел 5. Оптические свойства биологических тканей</b>	<b>224</b>
5.1. Поглощение света	224

5.2. Рассеяние света .....	227
5.2.1. Учет поглощения и рассеяния. Коэффициент ослабления .....	231
5.3. Отражение света. Зеркальное и диффузное отражение .....	232
5.4. Оптические характеристики биологических тканей .....	233
5.4.1. Диагностика и лечение заболеваний на основе данных биофотометрии .....	233
5.5. Люминесценция .....	238
5.5.1. Виды люминесценции. Ее характеристики и законы .....	239
5.5.2. Люминесцентный анализ в медицине .....	242
Контрольные вопросы к разделу «Оптические свойства биологических тканей» .....	246
<b>Раздел 6. Тепловое излучение тел .....</b>	<b>248</b>
6.1. Характеристики теплового излучения .....	248
6.2. Законы теплового излучения .....	251
6.3. Основы термографии. Теплоотдача организма .....	252
Контрольные вопросы к разделу «Тепловое излучение» .....	256
<b>Раздел 7. Рентгеновское излучение .....</b>	<b>258</b>
7.1. Тормозное рентгеновское излучение, его получение и спектральные свойства .....	258
7.2. Характеристическое рентгеновское излучение, его получение и спектральные свойства .....	261
7.3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом, биологическое действие излучения .....	263
7.4. Закон ослабления рентгеновского излучения, слой половинного ослабления .....	268
7.5. Физические принципы использования рентгеновского излучения в медицине .....	270

<b>7.6. Рентгеновская компьютерная томография .....</b>	<b>275</b>
7.6.1. Проблемы получения изображений при использовании стандартных методов рентгеновского исследования .....	275
7.6.2. Принцип работы компьютерного томографа .....	277
7.6.3. Современные рентгеновские компьютерные томографы .....	283
<b>Контрольные вопросы к разделу «Рентгеновское излучение» .....</b>	<b>286</b>
 <b>Раздел 8. Явления ядерной физики в лучевой диагностике .....</b>	<b>288</b>
8.1. Ядерный магнитный резонанс: физические основы явления и его применение в медицине .....	288
8.1.1. Физические основы явления ядерного магнитного резонанса .....	290
8.1.2. Взвешенность и контраст МРТ-изображения .....	298
8.1.3. Процедура пространственной локализации изображения в МР-томографии .....	303
8.1.4. Устройство МР-томографа .....	305
8.1.5. Достоинства и недостатки метода МРТ .....	307
8.2. Принципы радионуклидных методов диагностики .....	308
8.2.1. Радиография .....	309
8.2.2. Гамма-томография .....	310
8.2.3. Позитронно-эмиссионная томография .....	311
<b>Контрольные вопросы к разделу «Явления ядерной физики в лучевой диагностике» .....</b>	<b>314</b>
<b>Краткий терминологический словарь .....</b>	<b>316</b>
<b>Литература .....</b>	<b>320</b>