

**В. П. Сидоров**

# **ФИЗИКА**

## Практикум

*Учебно-методическое пособие  
для студентов медицинских вузов*

*Утверждено Методическим советом СПбГПМУ*

Санкт-Петербург  
СпецЛит  
2019

Автор:

*Владимир Павлович Сидоров* — заведующий кафедрой медицинской физики СПбГПМУ, кандидат технических наук, доцент.

Рецензенты:

*С. А. Немов* — д-р физ.-мат. наук, профессор. Кафедра технологии и исследования материалов Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого.

*А. А. Тихомирова* — канд. экон. наук, доцент. Кафедра медицинской информатики Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета.

**Сидоров В. П.**

С-34 Физика. Практикум : учебно-методическое пособие. — Санкт-Петербург : СпецЛит, 2019. — 207 с.

ISBN 978-5-299-01011-4

Пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов к семинарским занятиям и лабораторным работам при изучении физического блока учебной дисциплины «Физика, математика». В традициях кафедры медицинской физики СПбГПМУ математический блок этой дисциплины — элементы теории вероятностей и математической статистики — изучается первым, а физический — вторым. Но пособие «Физика. Практикум» написано так, что физический и математический блоки можно изучать в любой последовательности.

Главная особенность пособия видится автору в объеме и очередности подачи материала. По каждой теме объем материала достаточно велик и задача его такова, что студент со слабой базовой подготовкой по физике сможет, несмотря на это, набрать необходимый «прожиточный минимум», а продвинутый студент может этим не ограничиваться.

По каждому разделу приведены контрольные вопросы. В некоторых разделах есть вопросы для продвинутых студентов.

УДК 53.08

## СОДЕРЖАНИЕ

Условные сокращения .....	8
<b>Вводное занятие</b> .....	9
1. Измерения. Единицы измерений в системе СИ .....	9
2. Некоторые внесистемные единицы измерений .....	10
3. Дробные доли и кратные единицы измерений .....	11
4. Прямые и косвенные измерения .....	12
5. Точность. Абсолютная и относительная погрешность измерений .....	13
6. Результаты измерений в категориях математической статистики .....	15
7. Систематические и случайные погрешности .....	16
8. Нормальный закон распределения в экспериментальных исследованиях .....	17
<i>Контрольные вопросы</i> .....	18
<b>Материалы к лабораторной работе № 51 и к семинару по биоакустике</b> .....	19
1. Колебания. Их характеристики. Гармонические колебания .....	19
2. Вынужденные колебания. Резонанс .....	22
3. Звуки с линейчатым спектром .....	23
4. Звуки речи с непрерывным спектром .....	25
5. Звуки внутренних органов. Аускультация. Перкуссия .....	26
6. Волны. Характеристики волн .....	28
7. Восприятие звука. Закон Вебера — Фехнера .....	29
8. Децибелльная шкала интенсивности звука .....	30
9. Восприятие звука: продолжение .....	32
10. Звуки в животном мире .....	34
11. Физические и психофизические характеристики звука .....	34
12. Строение уха. Слух по воздушной и костной проводимости .....	35
13. Аудиометры .....	37
<i>Контрольные вопросы</i> .....	38
<b>Лабораторная работа № 51</b>	
<b>Определение порогов слышимости с помощью аудиометра</b> .....	39
<b>Лабораторная работа № 52</b>	
<b>Изучение гемодинамических показателей</b> .....	42
1. Измерение артериального давления методом Короткова .....	42
2. Ошибки измерения артериального давления .....	43
3. Автоматы для измерения артериального давления .....	44
4. Контроль насыщения крови кислородом. Сатурация .....	45
5. Методы контроля сатурации .....	46
6. Принцип работы пульсоксиметра .....	46

7. Поручения электронному блоку пульсоксиметра . . . . .	47
7.1. Основное поручение . . . . .	48
7.2. Предварительное поручение . . . . .	48
8. Когда контроль сатурации необходим . . . . .	50
9. Порядок выполнения работы . . . . .	50
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	52
 <b>Лабораторная работа № 53</b>	
<b>Моделирование процесса оседания эритроцитов</b> . . . . .	53
1. Общие сведения о крови . . . . .	53
2. Эритроциты . . . . .	53
3. Скорость оседания эритроцитов . . . . .	55
4. Диагностическая ценность СОЭ . . . . .	57
5. Вязкость жидкости. Коэффициент вязкости . . . . .	58
6. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Вязкость крови . . . . .	59
7. Некоторые факторы, влияющие на вязкость крови . . . . .	60
8. Вязкость крови в норме и при патологии . . . . .	61
9. Формула Стокса . . . . .	61
10. Движение шарика в жидкости . . . . .	62
11. Порядок выполнения работы . . . . .	63
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	65
 <b>Лабораторная работа № 54</b>	
<b>Работа с электрокардиографом.</b>	
<b>Построение средней электрической оси сердца</b> . . . . .	66
1. Электрография, ее виды. Электрокардиография . . . . .	66
2. Электрический диполь. Токовый диполь. Интегральный электрический вектор сердца . . . . .	67
3. Элементы практической электрокардиографии . . . . .	70
4. Электрокардиограф . . . . .	71
5. Порядок выполнения работы . . . . .	73
6. Обработка записей ЭКГ . . . . .	75
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	78
 <b>Лабораторная работа № 55</b>	
<b>Определение характеристик лазерного излучения</b> . . . . .	79
1. Кванты. Фотоны . . . . .	79
2. Свойства лазерного излучения . . . . .	80
3. Спонтанное и индуцированное излучение . . . . .	82
4. Принципиальная схема и принцип работы лазера . . . . .	84
5. Инверсная населенность энергетических уровней . . . . .	85
6. Дифракция света. Дифракционная решетка . . . . .	87
7. Схема лабораторной установки . . . . .	88
8. Порядок выполнения работы . . . . .	89
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	91

## Биоакустика

<b>Материалы к семинару ультразвук</b> .....	92
1. Получение и регистрация ультразвука в медицинской аппаратуре . . .	92
2. Ультразвуковые излучатели и приемники в медицинской технике . . .	93
3. Эхолокация в ультразвуковой диагностике .....	94
4. Волновое сопротивление. Коэффициенты отражения и пропускания .....	96
5. Закон Бугера — Ламберта. Ослабление звука и ультразвука .....	99
6. Эффект Доплера. Измерение скорости кровотока .....	101
7. Действие ультразвука на ткани организма. Методы лечения с применением ультразвука .....	102
<b>Материалы к семинару инфразвук</b> .....	106
1. Природные источники инфразвука .....	106
2. Техногенные источники инфразвука .....	106
3. Особые свойства инфразвуковых волн .....	107
4. Влияние инфразвука на организм человека .....	107
5. Медицинское применение инфразвука .....	109
6. Инфразвук в экологии .....	109
<i>Контрольные вопросы</i> .....	110

## Гемодинамика

<b>Материалы к семинару</b> .....	111
1. Общая характеристика системы кровообращения .....	111
2. Уравнение неразрывности .....	113
3. Уравнение Бернулли .....	115
3.1. Слагаемое $p$ — статическое давление .....	116
3.2. Слагаемое $\rho gh$ — гидростатическое давление .....	117
3.3. Слагаемое $\rho V^2/2$ — динамическое давление .....	118
4. Режимы течения жидкости .....	121
5. Формула Пуазейля. Гидравлическое сопротивление. ОПСС . . .	123
6. Свойства кровеносных сосудов .....	125
6.1. Артерии эластичного типа .....	125
6.2. Пульсовое давление .....	125
6.3. Сфигмография .....	126
6.4. Работа кровеносных сосудов при систоле .....	127
6.5. Артериальная пульсовая волна .....	127
6.6. Скорость пульсовой волны .....	128
6.7. Артерии мышечного типа .....	130
6.8. Системные нарушения в работе артерий .....	131
6.9. Капилляры .....	131
6.10. Декомпрессионная болезнь .....	132
6.11. Гипербарическая оксигенотерапия .....	134
6.12. Вены .....	135
<i>Контрольные вопросы</i> .....	136

## **Оптика**

<b>Материалы к семинару</b> .....	137
1. Развитие представлений о природе света .....	137
2. Законы геометрической оптики .....	139
2.1. Закон прямолинейного распространения света в однородной среде .....	139
2.2. Закон независимости световых лучей .....	140
2.3. Закон отражения света .....	140
2.4. Закон преломления света .....	141
3. Дисперсия света .....	143
4. Полное внутреннее отражение света. Эндоскопия .....	144
5. Линзы. Характеристики линз .....	146
6. Линзы: построение изображений .....	148
7. Ход лучей в оптическом микроскопе .....	149
8. Характеристики микроскопа .....	150
9. Формула тонкой линзы. Редуцированный глаз .....	153
10. Недостатки изображений .....	154
11. Специальные методы микроскопии .....	156
11.1. Иммерсионный микроскоп .....	156
11.2. Волновые свойства электронов .....	157
11.3. Электронный микроскоп .....	158
11.4. Сравнение возможностей оптических и электронных микроскопов .....	161
12. Оптическая система глаза .....	162
13. Особенности зрительной рецепции .....	164
13.1. Строение и функции зрительных рецепторов .....	165
13.2. Связи сетчатки с мозгом .....	167
13.3. Особенности цветового зрения .....	169
14. Коррекция зрения .....	170
<i>Контрольные вопросы</i> .....	171

## **Ионизирующие излучения**

<b>Материалы к семинару</b> .....	173
1. Рентгеновское излучение: общая характеристика .....	173
2. Методы получения рентгеновского излучения .....	175
2.1. Рентгеновская трубка .....	175
2.2. Бетатрон .....	177
3. Спектр рентгеновского излучения .....	180
3.1. Тормозное рентгеновское излучение .....	180
3.2. Характеристическое излучение .....	182
4. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом .....	183
4.1. Ионизирующее действие рентгеновского и гамма-излучения .....	183
4.2. Отражение и преломление рентгеновского излучения .....	184
4.3. Ослабление рентгеновского излучения. Закон Бугера. Слой половинного ослабления .....	185
4.4. Когерентное рассеяние .....	187

4.5. Фотопоглощение .....	187
4.6. Эффект Комптона .....	188
5. Гамма-излучение и его свойства .....	189
6. Применение рентгеновского излучения в диагностике .....	191
7. Радиоактивный распад. Виды распада .....	193
7.1. Альфа-распад .....	193
7.2. Бета-распад .....	193
8. Уравнение радиоактивного распада. Период полураспада. Активность .....	194
9. Применение ионизирующих излучений в лучевой терапии .....	197
10. Регистрация ионизирующих излучений .....	199
10.1. Счетчик Гейгера .....	200
10.2. Сцинтилляционный счетчик .....	201
10.3. Гамма-камера .....	203
11. Основные дозиметрические характеристики .....	205
<i>Контрольные вопросы</i> .....	206

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- АЦП — аналого-цифровой преобразователь  
ДКБ — декомпрессионная болезнь  
ДТП — дорожно-транспортное происшествие  
ИЭВС — интегральный электрический вектор сердца  
КТ — компьютерная томография  
МРТ — магнитно-резонансная томография  
ОПСС — общее периферическое сопротивление сосудов  
РФП — радиоактивный фармакологический препарат  
СИ (SI) — System International — Международная система единиц  
СОЭ — скорость оседания эритроцитов  
УЗ — ультразвук, ультразвуковой  
УЗИ — ультразвуковые исследования  
УО — ударный объем крови  
ФЭУ — фотоэлектронный умножитель  
ЦВД — центральное венозное давление  
ЦПУ — центральное программное устройство  
ЧСС — частота сердечных сокращений  
ЭДС — электродвижущая сила источника  
ЭКГ — электрокардиография, электрокардиограмма  
ЭЛТ — электронно-лучевые трубки  
ЭМ — электронный микроскоп



## ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ

### 1. Измерения. Единицы измерений в системе СИ

*Измерение* — это процесс сравнения исследуемой величины с ее значением, принятым за единицу.

Международная система единиц СИ (System International) имеет в своей основе следующие девять единиц измерения (табл. 1).

Таблица 1

Основные единицы системы СИ

Величина	Обозначение	Наименование
Длина	1 м	метр
Масса	1 кг	килограмм
Количество вещества	1 моль	моль
Время	1 с	секунда
Сила электрического тока	1 А	ампер
Температура	1 К	кельвин
Сила света	1 кд	кандела
Плоский угол	1 рад	радиан
Телесный угол	1 ср	стерадиан

Из этих основных единиц выводятся все производные единицы; некоторые из них приедены в табл. 2.

Таблица 2

Некоторые производные единицы системы СИ

Величина	Обозначение и связь с другими величинами	Наименование
Частота колебаний	$1 \text{ Гц} = 1 \text{ 1/с} = 1 \text{ с}^{-1}$	герц
Сила	$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$	ньютон
Давление	$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$	паскаль
Энергия, механическая работа	$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$	джоуль
Мощность	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$	ватт
Электрический заряд	$1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$	кулон
Напряжение, электрический потенциал	$1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}$	вольт

Величина	Обозначение и связь с другими величинами	Наименование
Емкость	1 Ф = 1 Кл/В	фарад
Электрическое сопротивление	1 Ом = 1 В/А	ом
Электрическая проводимость	1 См = 1 А/В	сименс
Магнитная индукция	1 Тл = 1 Н/А · м	тесла
Поток магнитной индукции	1 Вб = 1 Тл · м <sup>2</sup>	вебер
Индуктивность	1 Гн = 1 Вб/А	генри
Световой поток	1 лм = 1 кд/ср	люмен
Освещенность	1 лк = 1 лм/м <sup>2</sup>	люкс
Активность изотопа	1 Бк = 1 расп./с = 1 с <sup>-1</sup>	беккерель
Поглощенная доза излучения	1 Гр = 1 Дж/кг	грей
Эквивалентная доза	1 Зв = 1 Дж/кг	зиверт

Заглавная буква в обозначении единицы измерения означает, что эта единица названа в честь известного физика (Герц, Паскаль, Ом и др.). Обозначения, не связанные с именами собственными, пишутся со строчной буквы (1 кг, 1 кл, 1 лм и т. д.).

## 2. Некоторые внесистемные единицы измерений

**Давление.** Единица давления в системе СИ — паскаль (Па).

Внесистемная единица — *миллиметр ртутного столба* (мм рт. ст.)

Связь между ними: 1 мм рт. ст. = 133 Па; 1 Па =  $\frac{1}{133}$  мм рт. ст.

**Температура** — мера внутренней энергии тел.

Единица температуры в системе СИ — *один градус Кельвина* (1 К).

Нулевая точка в шкале Кельвина сдвинута относительно нулевой точки в шкале Цельсия на 273,16 градуса:  $T(K) = 273,16 + t(^{\circ}C)$ .

Градус Кельвина (1 К) и градус Цельсия (1 °С) равноценны.

**Энергия.** Единица энергии в системе СИ — джоуль (Дж).

Внесистемная единица — *калория* (кал).

Связь между ними: 1 кал = 4,19 Дж; 1 Дж = 1/4,19 кал = 0,24 кал.

Внесистемная единица — *электронвольт* (эВ) — энергия, которую приобретает электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов величиной в один вольт. Заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Связь с джоулем: 1 эВ =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж.

Внесистемная единица — *киловатт-час* (кВт · ч). Введена на основе формулы, определяющей мощность:  $P = E/t$ .

**Сидоров Владимир Павлович**

# ФИЗИКА

## ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Пугачева Н. Г.*

Корректор *Дич Т. А.*

Верстка *Пугачевой О. В.*

Подписано в печать 08.04.2019. Формат 60 × 88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печ. л. 13,0 печ. л. Тираж 500 экз. Заказ №

ООО «Издательство „СпецЛит“».

190103, Санкт-Петербург, 10-я Красноармейская ул., 15.

Тел./факс: (812)495-36-09, 495-36-12

<http://www.speclit.spb.ru>

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские технологии».

109316, Москва, Волгоградский пр., д. 42, корп. 5, к. 6