

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 |
| Вводное занятие | 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 |
| Материалы к лабораторной работе № 51 и к семинару по биоакустике | 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 |
| Лабораторная работа № 51 | |
| Определение порогов слышимости с помощью аудиометра | 39 |
| Лабораторная работа № 52 | |
| Изучение гемодинамических показателей | 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 |
| Лабораторная работа № 53 | |
| Моделирование процесса оседания эритроцитов | 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 |
| Лабораторная работа № 54 | |
| Работа с электрокардиографом. | |
| Построение средней электрической оси сердца | 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 |
| Лабораторная работа № 55 | |
| Определение характеристик лазерного излучения | 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

| | |
|---|-----|
| Материалы к семинару ультразвук | 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 |
| Материалы к семинару инфразвук | 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

| | |
|---|-----|
| Материалы к семинару | 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 ρgh — 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

| | |
|--|-----|
| Материалы к семинару | 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

| | |
|---|-----|
| Материалы к семинару | 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 | $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$ | фарад |
| Электрическое сопротивление | $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В/А}$ | ом |
| Электрическая проводимость | $1 \text{ См} = 1 \text{ А/В}$ | сименс |
| Магнитная индукция | $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Н/А} \cdot \text{м}$ | тесла |
| Поток магнитной индукции | $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$ | вебер |
| Индуктивность | $1 \text{ Гн} = 1 \text{ Вб/А}$ | генри |
| Световой поток | $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд/ср}$ | люмен |
| Освещенность | $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$ | люкс |
| Активность изотопа | $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с} = 1 \text{ с}^{-1}$ | беккерель |
| Поглощенная доза излучения | $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ | грей |
| Эквивалентная доза | $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$ | 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: $1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Па}$; $1 \text{ Па} = \frac{1}{133} \text{ мм рт. ст.}$

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: $T(\text{К}) = 273,16 + t(\text{°С})$.

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: $1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$; $1 \text{ Дж} = 1/4,19 \text{ кал} = 0,24 \text{ кал}$.

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

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

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 × 88¹/₁₆.

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