

В. П. Омельченко, Э. В. Курбатова

# **ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА**

*Учебник для студентов медицинских  
и фармацевтических вузов*

Рекомендовано Координационным советом в качестве учебника  
для использования в образовательных учреждениях,  
реализующих основные профессиональные образовательные программы  
высшего образования по укрупненной группе специальностей  
и направлений подготовки уровня специалитета области образования  
«Здравоохранение и медицинские науки»

Санкт-Петербург  
СпецЛит  
2019

УДК 53.51  
О-57

**Авторы:**

*Омельченко Виталий Петрович* — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской и биологической физики ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России;

*Курбатова Элеонора Владимировна* (05.12.1941—23.07.2015) — кандидат биологических наук, доцент кафедры медицинской и биологической физики ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России.

**Рецензенты:**

*Ю. Л. Березняк* — кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физики и математики подготовительного факультета ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава РФ;

*В. С. Кунаков* — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

**Омельченко В. П., Курбатова Э. В.**

О-57 Физика. Математика : учебник для студентов медицинских и фармацевтических вузов / В. П. Омельченко, Э. В. Курбатова. — Санкт-Петербург : СпецЛит, 2019. — 351 с.  
ISBN 978-5-299-00872-2

Учебник соответствует новому Федеральному государственному образовательному стандарту и примерной программе по физике и математике для медицинских и фармацевтических вузов. Включены материалы практических занятий по математике и лабораторных занятий по физике; удобство восприятия студентами обеспечивается наличием дидактического материала в каждом из разделов: рекомендации по подготовке к практическим занятиям, обучающие задачи, задачи и упражнения для самостоятельного решения и ответы к ним, вопросы к самостоятельной подготовке к лабораторным работам, изложение содержания лабораторных работ, рекомендации по статистической обработке полученных результатов и оформлению отчетов.

Издание предназначается для студентов медицинских и фармацевтических вузов, обучающихся по направлениям подготовки 31.05.02, 31.05.03, 32.05.01, 33.05.01 и 31.05.01.

УДК 53.51

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ</b> . . . . .	7
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> . . . . .	9
<b>1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ</b> . . . . .	11
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1 . . . . .	11
Методика проведения практического занятия . . . . .	11
Методика проведения лабораторно-практического занятия . . . . .	12
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2 . . . . .	18
Аудиторная самостоятельная работа . . . . .	18
Погрешности прямых измерений . . . . .	20
Погрешности косвенных измерений . . . . .	26
<b>2. МАТЕМАТИКА</b> . . . . .	29
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 . . . . .	29
Производные разных порядков . . . . .	29
Дифференциал функции . . . . .	36
Неопределенный интеграл . . . . .	40
Определенный интеграл . . . . .	46
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4 . . . . .	51
Понятие об обыкновенных дифференциальных уравнениях . . . . .	51
Дифференциальные уравнения первого порядка. . . . .	52
Линейные однородные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами. . . . .	56
Применение дифференциальных уравнений для решения задач . . . . .	57
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5 . . . . .	60
Случайное событие . . . . .	60
Случайные величины . . . . .	70
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6 . . . . .	78
Основные понятия математической статистики . . . . .	78
Статистические оценки параметров распределения. Выборочные характеристики . . . . .	81
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7 . . . . .	91
Статистическая проверка гипотез . . . . .	91
Общая постановка задачи проверки гипотез . . . . .	93

Проверка гипотез относительно средних . . . . .	94
Проверка гипотез для дисперсий . . . . .	94
Проверка гипотез о законах распределения . . . . .	96
Непараметрические критерии . . . . .	97
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8 . . . . .</b>	<b>102</b>
Функциональная и корреляционная зависимости . . . . .	102
Коэффициент линейной корреляции и его свойства . . . . .	104
Проверка гипотезы о значимости выборочного коэффициента линейной корреляции . . . . .	106
Выборочное уравнение линейной регрессии. Метод наименьших квадратов	107
Нелинейная регрессия . . . . .	111
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9 . . . . .</b>	<b>116</b>
Схема однофакторного дисперсионного анализа . . . . .	116
Двухфакторный дисперсионный анализ . . . . .	127
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10 . . . . .</b>	<b>136</b>
Понятие временного ряда . . . . .	136
Определение тренда . . . . .	138
Анализ периодических временных рядов . . . . .	145
Анализ случайных (стохастических) временных рядов . . . . .	151
<b>3. ФИЗИКА . . . . .</b>	<b>156</b>
<b>3.1. Биомеханика . . . . .</b>	<b>156</b>
<b>ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11 . . . . .</b>	<b>156</b>
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Акустика»	156
Лабораторная работа «Снятие спектральной характеристики уха на пороге слышимости» . . . . .	158
<b>ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 12 . . . . .</b>	<b>162</b>
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Гемоди- намика» . . . . .	162
Лабораторная работа «Определение вязкости плазмы крови и вязкости крови» . .	164
<b>ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 13 . . . . .</b>	<b>169</b>
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Био- мембранология» . . . . .	169
Лабораторная работа «Исследование проницаемости кожи лягушки». . . . .	170
<b>3.2. Биоэлектричество . . . . .</b>	<b>175</b>
<b>ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 14 . . . . .</b>	<b>175</b>
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Элект- рические свойства тканей организма» . . . . .	175
Лабораторная работа «Определение электрического сопротивления пред- плечья человека постоянному току. Исследование дисперсии импеданса биологической ткани» . . . . .	176

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 15 . . . . .	183
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Био- физические основы электрокардиографии» . . . . .	183
Лабораторная работа «Регистрация и анализ электрокардиограммы человека»	187
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 16 . . . . .	193
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Био- электрическая активность сердца» . . . . .	193
Лабораторная работа «Определение электрической оси сердца» . . . . .	194
<b>3.3. Медицинская электроника . . . . .</b>	<b>205</b>
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 17 . . . . .	205
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Устройст- ва для съема, передачи и регистрации медико-биологической информации». . . . .	205
Лабораторная работа «Изучение работы некоторых датчиков, применя- ющихся в медицине» . . . . .	210
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 18 . . . . .	216
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Физи- ческие основы реографии» . . . . .	216
Лабораторная работа «Регистрация и анализ реограммы верхней конечности человека». . . . .	218
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 19 . . . . .	225
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Физи- ческие основы ультразвуковых методов исследований» . . . . .	225
Лабораторная работа «Физические основы ультразвуковых методов иссле- дований» . . . . .	227
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 20 . . . . .	238
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Физи- ческие основы клинического метода измерения давления крови» . . . . .	238
Лабораторная работа «Физические основы клинического метода измере- ния давления крови». . . . .	239
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 21 . . . . .	249
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Мето- дика проведения гальванизации и лекарственного электрофореза аппара- том постоянного тока „Поток-Бр“» . . . . .	249
Лабораторная работа «Методика проведения гальванизации и лекарствен- ного электрофореза аппаратом постоянного тока „Поток-Бр“» . . . . .	251
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 22 . . . . .	260
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Аппа- раты низкочастотной терапии» . . . . .	260
Лабораторная работа «Физиотерапевтические аппараты низкочастотной терапии» . . . . .	262

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 23 . . . . .	282
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Биологическое действие электромагнитного поля высокой частоты. Аппараты высокочастотной терапии» . . . . .	282
Лабораторная работа «Сравнение тепловых эффектов электромагнитного поля УВЧ-диапазона в электролите и диэлектрике» . . . . .	284
Лабораторная работа «Изучение явления деформации среды и денатурации белка с помощью ультразвукового терапевтического аппарата» . . . . .	287
<b>3.4. Оптика</b> . . . . .	289
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 24 . . . . .	289
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Поляризация света» . . . . .	289
Лабораторная работа «Определение концентрации и удельного вращения сахаров при помощи медицинского сахариметра» . . . . .	291
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 25 . . . . .	296
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Оптическая микроскопия» . . . . .	296
Лабораторная работа «Измерение линейных размеров эритроцитов при помощи микроскопа» . . . . .	297
<b>3.5. Квантовая биофизика</b> . . . . .	303
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 26 . . . . .	303
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Поглощение света» . . . . .	303
Лабораторная работа «Определение концентрации растворов глюкозы в сыворотке крови с помощью медицинского микроколориметра МКМФ-02» . . . . .	305
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 27 . . . . .	309
Рекомендации студентам по подготовке к практическому занятию «Ионизирующее излучение» . . . . .	309
Лабораторная работа «Измерение мощности дозы излучения радионуклидов» . . . . .	311
<b>4. Ответы.</b> . . . . .	319
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> . . . . .	330
ПРИЛОЖЕНИЕ № 1. Таблицы критериев . . . . .	330
ПРИЛОЖЕНИЕ № 2. Некоторые сведения из элементарной математики . . . . .	340

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- АД — артериальное давление (мм рт. ст.)  
АЦП — аналого-цифровой преобразователь  
ГМ — глубина модуляции  
ДВ — двухтактный волновой ток  
ДД — диастолическое давление  
ДДТ — диадинамические токи  
ДМВ-терапия — дециметровая терапия  
ДН — двухполупериодный непрерывный ток  
ДП — модулированный длинными периодами ток  
ДПС — дополнительная постоянная составляющая  
ЖКИ — жидкокристаллический индикатор  
ИЭТ — изоэлектрическая точка  
КВЧ-терапия — крайне высокочастотная терапия  
КДО — конечно-диастолический объем  
КП — модулированный короткими периодами ток  
КСО — конечно-систолический объем  
ЛЖ — левый желудочек  
МО — минутный объем  
МЭД — мощность экспозиционной дозы  
НЧ — низкая частота  
ОАВ — оптически активные вещества  
ОВ — однополупериодный волновой ток  
ОН — однополупериодный непрерывный ток  
ОР — однополупериодный ритмический ток  
ПД — пульсовое давление  
ПДД — предельно допустимая доза  
ПК — профессиональная компетенция  
ПЧ — перемежающиеся частоты  
РГ — реограмма  
РР — род работы  
СД — систолическое давление  
СИ — система единиц  
СМ — сахариметр медицинский  
СМВ-терапия — сантиметровая терапия  
СМТ — синусоидальный модулированный ток  
СОЭ — скорость оседания эритроцитов  
ФВ — фракции выброса  
ФГОС — Федеральный государственный образовательный стандарт  
ФКГ — фонокардиограмма

- ХЛ — общий холестерин
- ХЛ ЛПВП — холестерин липопротеидов высокой плотности
- УВЧ — ультравысокая частота
- УЗ — ультразвук
- УО — ударный объем
- ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь
- ЧСС — частота сердечных сокращений (уд./мин)
- ЭК — электрокардиограф
- ЭКГ — электрокардиограмма
- ЭОС — электрическая ось сердца



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Согласно новому Федеральному государственному образовательному стандарту — ФГОС (Приказ Минобрнауки России от 09.02.2016), в учебной программе медицинских вузов имеется дисциплина «Физика. Математика», которая изучается на лечебно-профилактическом (по направлению подготовки 31.05.01), педиатрическом (31.05.02), медико-профилактическом (32.05.01) и стоматологическом (31.05.03) факультетах. На фармацевтическом факультете (33.05.01) эти дисциплины изучаются раздельно и называются «Физика» и «Математика».

В новом ФГОС изучение этой дисциплины направлено на реализацию следующих компетенций будущих специалистов:

- «способность и готовность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, использовать для их решения соответствующий физико-химический и математический аппарат» (ПК-2 <sup>1</sup>);
- «способность и готовность к работе с медико-технической аппаратурой, используемой в работе с пациентами» (ПК-9 <sup>2</sup>).

Для реализации этих компетенций студенты должны *знать*:

— математические методы решения интеллектуальных задач и их применение в медицине;

- правила техники безопасности и работы в физических лабораториях, с приборами;
- основные физические явления и закономерности, лежащие в основе процессов, протекающих в организме человека;
- характеристики воздействия физических факторов на организм;
- физические основы функционирования медицинской аппаратуры.

Студенты должны *уметь*:

- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- осуществлять математическую обработку результатов измерений;
- самостоятельно работать с литературой.

В настоящем учебнике дано описание практических и лабораторных работ, направленных на получение и усвоение этих знаний и умений.

Во вводном занятии подробно описана организация учебного процесса по дисциплине «Физика. Математика». Учитывая, что занятия проходят на первом курсе, студентам объясняются формы занятий: аудиторные, внеаудиторные, контрольные. Особое внимание уделяется самостоятельной работе. Объясняются методика проведения

---

<sup>1</sup> ПК — профессиональная компетенция. ПК-2: «Способность участвовать в практическом освоении систем управления качеством».

<sup>2</sup> ПК-9: «Способность проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ».

лабораторно-практических занятий, подготовка протоколов и отчетов, статистическая обработка результатов измерений, защита лабораторных работ.

На втором занятии рассматривается правильное оформление результатов измерений, поскольку лабораторный практикум по физике предусматривает измерения различных физических величин. Грамотное оформление результатов исследований необходимо будет студентам и при изучении других дисциплин, а также при выполнении научно-исследовательских работ.

В разделе «Математика» рекомендуется проведение следующих занятий: «Дифференциальное и интегральное исчисление», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятностей», «Статистический анализ» и «Статистическая проверка гипотез». Практические занятия по темам «Корреляционно-регрессионный анализ», «Дисперсионный анализ» и «Анализ временных рядов» рекомендуется проводить по дисциплине «Математика» на фармацевтическом факультете.

В разделе «Физика» приводится описание занятий по биомеханике, электрическим свойствам тканей организма, медицинской аппаратуре, оптике, квантовой биофизике и др. Практически к каждому занятию приводятся вопросы для подготовки к занятию, литература, контрольные вопросы, обучающие задачи, порядок выполнения лабораторной работы, техника безопасности, рекомендации по обработке полученных данных.

Учебник разработан и апробирован на кафедре медицинской и биологической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ (сокращенно: ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России). Отдельные лабораторные работы подготовлены и описаны сотрудниками кафедры:

- доцентом Демидовой А. А. — лабораторно-практическое занятие № 16;
- ассистентом Коршуновым В. Г. — лабораторно-практические занятия № 19 и 22;
- ассистентом Маяковым С. Л. — лабораторно-практическое занятие № 20;
- доцентом Карасенко Н. В. — лабораторно-практическое занятие № 21;
- доцентом Антоненко Г. В. — лабораторно-практическое занятие № 23;
- ассистентом Лысенко В. А. — лабораторно-практическое занятие № 27.

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам кафедры за активное участие в подготовке, апробации и внедрении в учебный процесс лабораторных и практических занятий. Особая благодарность асс. И. О. Михальчич за помощь в оформлении рукописи.

Авторы признательны заведующему кафедрой медицинской физики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава РФ доценту В. П. Сидорову за замечания и дополнения.

# 1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

---

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

**Тема: ВВЕДЕНИЕ**

**Цели занятия:**

- Обучить студентов научному методу исследования явлений.
- Сформировать мышление будущих врачей в понятиях и категориях точных наук.
- Научить писать протокол лабораторной работы и отчет по ней.
- Обучить студентов статистическим приемам обработки результатов измерений.

### **Формы занятий в образовательном процессе**

Основа высшего образования — это самостоятельная подготовка. Опыт обучения первокурсников показывает, что большинство из них не имеет навыков самостоятельного изучения учебного материала. Такую самостоятельность, оптимальную организацию мышления студента высшей школы приходится воспитывать самой структурой учебного процесса.

Организация учебного процесса на кафедре позволяет привить студентам навыки научного метода изучения явлений. Этот метод включает в себя три компоненты:

1. Эксперимент, направленный на установление функциональных зависимостей между тестирующим фактором и реакцией на него.
2. Измерение параметров изучаемых явлений.
3. Математический анализ результатов измерения.

В каждой работе студенты обязательно измеряют физические величины и затем проводят математический анализ полученных результатов.

Образовательный процесс организован на основе *модульно-рейтинговой* технологии и содержит *три формы занятий*: аудиторные (лекции, практические и лабораторные занятия), внеаудиторные (самостоятельная работа, консультации) и контрольные (коллоквиумы, зачетные занятия, экзамены).

### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ**

**Цель практического занятия:** изучение теории вопроса — основных положений, составляющих базу курса.

**Форма проведения** — в виде семинар-конференции.

**Место проведения занятия:** учебные аудитории кафедры.

**Продолжительность занятия:** три академических часа.

**Обнащение:** демонстрационные таблицы, схемы по данной теме, проекционное оборудование учебной аудитории.

Методика проведения практического занятия основывается на *активизации* учебных, научных знаний студентов по конкретным вопросам соответствующих модулей.

Проведение этого практического семинарского занятия может происходить следующим образом.

1. По **традиционной** процедуре, заключающейся в демонстрации студентами на занятиях самостоятельно усвоенного материала. В этом случае отдельные студенты освещают предварительно подготовленные вопросы занятия, после чего аудитория обсуждает их уровень и, при необходимости, ответы дополняются, либо отмечаются их недостатки под руководством преподавателя, ведущего занятие.
2. Методика также может строиться на основе **практических заданий и контрольных вопросов**, которые задаются преподавателем в пределах тематики соответствующего модуля, к которому студенты готовились по вопросам практического занятия. В этом случае проверяются уровень усвоенных знаний и готовность студентов анализировать теоретическую базу конкретного модуля.
3. Работа на практическом занятии может дополняться **тестированием**. Тестовые задания используются для проведения проверки полученных знаний. При этом они применяются в целях проверки текущих знаний в ходе освоения отдельных модулей. Ход тестирования предназначен для контроля самостоятельной работы студентов и уровней усвоения ими учебного материала. Тем самым происходит стимулирование обучающихся к получению более глубоких знаний по изучаемому предмету, что в свою очередь является шагом на пути получения искомой специальности. Результаты каждого этапа должны обсуждаться в ходе семинарских занятий и анализироваться как преподавателем, так и студентами для выявления пробелов необходимого уровня знаний. Перед проведением тестирования студенты должны быть ознакомлены с **критериями оценки** полученных результатов.
4. Работа студентов на практическом занятии может дополняться их **реферативными докладами** (эти доклады оцениваются преподавателем, в результате чего тот может сделать вывод об уровне подготовленности конкретного студента к занятию и добавить соответствующие баллы к его рейтингу) и подготовкой презентации.
5. Возможно проведение семинарского занятия в форме **деловой игры**.

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

**Форма проведения занятия:** лабораторно-практическое занятие. *Практическая часть* — в форме семинаров, конференций. *Лабораторная часть* — в форме выполнения экспериментальной работы и составления отчета с последующей защитой.

**Место проведения занятия:** учебные аудитории кафедры.

**Продолжительность занятия:** три академических часа.

**Оборудование:** демонстрационные таблицы, схемы по данной теме, проекционное оборудование учебной аудитории.

#### *Основные положения лабораторно-практического занятия*

Студенты заранее получают вопросы по программе для обсуждения на практической части занятия и рекомендуемую литературу. Если это необходимо, то они получают консультацию преподавателя в процессе подготовки к занятию.

Студенты приходят на занятие, *зная теорию вопроса и имея протокол лабораторной работы.*

На **практической части занятия** в виде семинара-конференции:

- Докладываются все теоретические вопросы.
- Обсуждается каждое положение с привлечением всех студентов.
- Решаются обучающие задачи.
- Задаются задачи на дом для самостоятельной работы.

На **лабораторном занятии**:

- Проверяется наличие *протокола*.
- Обсуждается содержание лабораторной работы. Обдумываются вопросы и формулируются ответы на следующие вопросы:

- цель выполнения данной лабораторной работы;
- какое физическое явление лежит в основе данного метода измерения. Надо постараться вникнуть в суть этого метода;
- какая функциональная зависимость исследуется в данной работе. Записываются на доске формулы, отражающие эту зависимость;
- какая физическая величина непосредственно измеряется в данной лабораторной работе;
- каким прибором она измеряется;
- каким образом по этой величине рассчитывается искомая величина;
- рассматриваются блок-схемы или оптические схемы приборов, характеризуются основные элементы этих схем;
- коротко описывается принцип устройства и действия этой аппаратуры.

- *Выполняется сама лабораторная работа.*
- Составляется *отчет*. Отчет по лабораторной работе должен содержать:
  - сведения об используемой аппаратуре;
  - таблицы с результатами измерений;
  - расчетные формулы и результаты расчетов;
  - формулы для расчета погрешностей и расчет относительной и абсолютной погрешности;
  - заключение, в котором следует привести значения полученных физических величин, записанные согласно правилам;
  - сформулированные выводы.
- Отчет предъявляется преподавателю на этом же занятии и проводится его *защита*.

### **Требования к оформлению лабораторных работ**

Различают два термина: «протокол» и «отчет».

Протокол (*греч. protokollon* — первый лист) — документ, содержащий запись всего происходящего, описание произведенных действий и установленных фактов.

Отчет о выполненной работе — это в научных исследованиях означает результат. Отчет опирается на протокол. В отчете приводятся вычисленные величины, строятся графики или диаграммы для сравнения полученных результатов. Отчет завершается выводами — интерпретацией полученных результатов.

Протокол и отчет пишутся *без сокращений, четким почерком*. Это модель написания научной статьи.

**Протокол.** Он должен содержать следующее:

1. **Название** работы.

2. **Цель** работы. Формулировка цели исследования очень ответственное дело. Не рекомендуется ставить в качестве цели: «знакомство с аппаратурой», «познакомиться с принципом действия». На приборах надо работать.

3. **Оснащение:** это приборы и принадлежности, используемые в данной работе.

4. **Краткую теорию, вывод рабочей формулы** (если она есть). Или: Применяемая методика и ее теоретическое обоснование. Или: Физиотерапевтическая методика, изучаемая в данной работе. Ее назначение и основные параметры, и т. п.

5. **Рисунок** или **блок-схему прибора:** если речь идет об аппаратуре, то не нужен рисунок, изображающий внешний вид прибора; должна быть блок-схема с подписанными элементами. Рисунок обязательно должен быть подписан.

6. **Порядок выполнения** лабораторной работы обычно не пишут.

7. **Таблицы:** они подписываются и оформляются по правилам ГОСТа; в них на занятиях будут вписаны результаты измерений. Таблицы, как правило, снабжаются текстовыми заголовками, которые располагаются над таблицами, посередине полосы. Заголовки пишут с прописной буквы, без точки в конце. При построении таблиц следует избегать вертикальной графы «номер по порядку», в большинстве случаев ненужной. Пример см. в табл. 1.1.

Таблица 1.1

#### Зависимость длины волны от частоты колебаний для некоторых сред

Частота, $\nu$ , МГц	Длина волны, $\lambda$ , нм			Заголовки, вертикальные графы (головка)
	металл	вода	воздух	
0,5	10	3,5	0,66	Горизонтальные графы (строки)
Боковик	Вертикальные графы или столбцы			

Основные заголовки и самостоятельные названия в головке и в боковике таблицы пишут с прописной буквы, а подчиненные, расположенные ниже объединяющего их заголовка, — со строчной. Точка в конце не ставится.

Все слова в заголовках и надписи головки и боковика пишутся полностью, без сокращений. Допускаются лишь те сокращения, которые приняты в тексте, как при числах, так и без них.

Обозначения единиц измерения, приводимых в таблицах величин, пишут только в сокращенном виде и всегда выносят в общий заголовок таблицы. Не допускается указывать их непосредственно в графах. В головках таблиц размерности предпочтительнее указывать отдельной строкой.

Эти пункты протокола уже должны быть в тетради студента, когда он приходит на занятие.

Работа на лабораторном занятии сводится к выполнению экспериментальной работы, составлению отчета по ней и защиты.

**Отчет по лабораторной работе.** Он должен содержать следующее:

1. **Таблицу результатов** измерений и расчетов, заполненную в ходе выполнения лабораторной работы.

2. **Математическую обработку результатов измерений:** расчетные формулы и результаты расчетов по рабочей формуле (если она имеется). При вычислениях не надо списывать с дисплея калькулятора по 6 цифр после запятой. Академик А. И. Крылов говорил по этому поводу, что неверная цифра в расчете составляет ошибку, а каждая лишняя цифра — половину ошибки. Обычно, какая наименьшая точность числа вводится в калькулятор, такую желательно иметь и на выходе. То есть если вводятся десятые доли после запятой, то зачем на выходе иметь тысячные доли? Таким образом, надо провести округление рассчитанных величин до стольких значащих цифр или до стольких знаков, сколько было введено.

3. **График**, построенный по результатам измерений и оформленный по правилам ГОСТа. Значение представления данных в графической форме трудно переоценить, т. к. графики позволяют более наглядно представить результаты исследований.

Ось абсцисс и ось ординат графика вычерчивают сплошными линиями. На концах координатных осей стрелок не ставят.

Все графики, как правило, должны быть снабжены координатной сеткой, соответствующей масштабности шкал (равномерных или логарифмических) по осям абсцисс и ординат.

Без сетки допускаются графики, на осях координат которых нет числовых значений, например, графики, поясняющие лишь принципиальную картину процесса изменения состояния, характер изменения функций и т. п. При отсутствии сетки оси координат заканчивают стрелками. Числовые значения масштаба шкал осей координат пишут только при наличии сетки и, как правило, за пределами рамки графика.

Следует избегать дробных значений масштабных делений по осям координат. Многочисленные числовые значения по осям координат рекомендуется по возможности приводить в виде произведения целых чисел на некоторый постоянный множитель. На координатной оси этот множитель следует либо указывать при буквенном обозначении величины, откладываемой по оси, либо вводить в размерность этой величины.

Рекомендуется избегать графиков с большими свободными участками сетки, не занятыми кривыми или надписями. Для этого, когда возможно, числовые деления на осях координат следует начинать не с нуля, а ограничивать теми значениями, в пределах которых рассматривается данная функциональная зависимость. Характерные точки на графике (результаты различных опытов, точки перегибов кривых и т. д.) отмечают условными знаками. Расшифровку условных знаков, обозначающих характерные точки графика, во всех случаях рекомендуется выносить с графиков в подпись под иллюстрацией в виде таблички условных обозначений.

Иной раз результаты удобно представить в виде *диаграммы*. Диаграмма — это представление данных таблицы в графическом виде, который используется для анализа и сравнения данных. Например, диаграммы могут быть столбцевыми в виде гистограммы, круговыми в виде «пирога» и т. п.

4. **Оценку величины относительной и абсолютной погрешностей:** измерение любой физической величины является полноценным, если кроме самого значения этой величины указывается точность измерения. Мерой точности является погрешность измерения (ошибка). Оценка погрешностей измерений подробно рассмотрена в практическом занятии № 2.

Считая  $x = \text{const}$ , получим:

$$\frac{\partial u}{\partial y} = u'_y = \left( \arctg \frac{x+y}{x-y} \right)'_y = \frac{\left( \frac{x+y}{x-y} \right)'}{1 + \left( \frac{x+y}{x-y} \right)^2} = \frac{2x}{2x^2 + 2y^2} = \frac{x}{x^2 + y^2}.$$

Полный дифференциал равен:

$$du = \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy = \frac{-y dx}{x^2 + y^2} + \frac{x dy}{x^2 + y^2} = \frac{x dy - y dx}{x^2 + y^2}.$$

ПРОИЗВОДНАЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ, ГРАДИЕНТ СКАЛЯРНОЙ ФУНКЦИИ

Градиентом **скалярной функции**  $f(x,y)$  в точке  $M(x;y)$  называется вектор, координаты которого равны соответствующим частным производным  $\frac{\partial f}{\partial x}$  и  $\frac{\partial f}{\partial y}$ , взятым в точке  $(x; y)$ , и обозначается:

$$\text{grad } f(x, y) = \left\{ \frac{\partial f}{\partial x}; \frac{\partial f}{\partial y} \right\}.$$

**Градиент функции**  $f(x,y)$  в точке  $M(x;y)$  **характеризует направление и величину максимальной скорости возрастания этой функции в данной точке.**

Учитывая, что  $\frac{\partial f}{\partial l} = |\text{grad } f| \cdot \cos \varphi$ , где  $\varphi$  — угол между векторами  $\vec{l}$  и  $\text{grad } f$ , из равенства следует, что производная функции по направлению имеет наибольшую величину при  $\varphi = 0$ , т. е. когда направление вектора  $\vec{l}$  совпадает с направлением  $\text{grad } f$ .

Производной функции  $f(x,y)$  в точке  $M(x;y)$  по направлению вектора  $\vec{l}$  называется предел разности двух значений функции в некоторых двух точках, деленной на расстояние между этими точками и обозначается:

$$\frac{df}{dl} = \lim_{N \rightarrow M} \frac{f(N) - f(M)}{MN} \quad \text{или} \quad \frac{\partial f}{\partial l} = \frac{\partial f}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial f}{\partial y} \cos \beta,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — углы между положительным направлением оси  $0x$  и  $0y$ , соответственно (рис. 3.3).

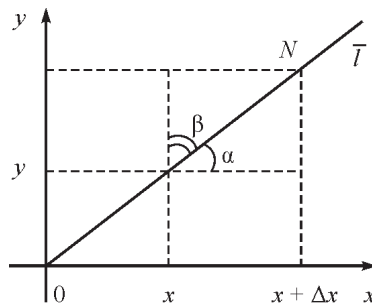


Рис. 3.3. Производная по направлению



*Учебное издание*

**Виталий Петрович Омельченко**

**Элеонора Владимировна Курбатова**

**ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА**

Учебник для студентов медицинских и фармацевтических вузов

Редактор *Дудина Е. И.*  
Корректор *Буланкина Е. М.*  
Верстка *Тархановой А. П.*

Подписано в печать 4.06.2019. Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печ. л. 22. Тираж 1500 экз. Заказ №

ООО «Издательство „СпецЛит”».  
190103, Санкт-Петербург, 10-я Красноармейская, 15.  
<http://www.speclit.spb.ru>

Первая Академическая типография «Наука»,  
199034, Санкт Петербург, 9 я линия, 12