

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Мурманский государственный технический университет»**

Кафедра общей и прикладной физики

*Методические указания к лабораторному практикуму  
по дисциплине «Физика»  
для обучающихся по специальности 26.03.02 Кораблестроение,  
океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры  
очной формы*

Мурманск  
2019

Составитель – Анна Владимировна Михайлюк, к. филос. н., доцент кафедры общей и прикладной физики Мурманского государственного технического университета

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой 11 сентября 2019 г., протокол № 1

© Мурманский государственный  
технический университет, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	5
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	6
Основная литература .....	6
Дополнительная литература .....	6
Рекомендуемая литература к лабораторным занятиям.....	7
ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ.....	7
Подготовка к лабораторной работе и получение допуска.....	7
Выполнение лабораторной работы и математическая обработка результатов .....	9
Подготовка к защите лабораторных работ.....	10
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	11
Раздел «Механика».....	11
Разделы «Молекулярная физика и термодинамика».....	13
Раздел «Электричество».....	14
Раздел «Электромагнетизм» .....	16
Раздел «Колебания и волны».....	17
Разделы «Оптика. Атомная и ядерная физика» .....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Обложка лабораторной тетради.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Образец оформления бланка отчета лабораторной работы .....	22
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Методика обработки результатов прямых измерений.....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Методика обработки результатов косвенных измерений .....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Правила приближенных вычислений.....	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Представление результатов в виде графиков .....	29

## ВВЕДЕНИЕ

Курс физики студенты Морского института, обучающиеся по специальности **26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры**, изучают в течение трёх семестров. В программу обучения входит выполнение лабораторного практикума. Для этих целей на кафедре общей и прикладной физики предоставлены три лаборатории: «Механики, молекулярной физики и термодинамики», «Электромагнетизма», «Оптики, атомной и ядерной физики».

Большинство лабораторных работ, выполняемых в лабораториях кафедры физики, не фронтальные, а индивидуальные по своему содержанию. Они охватывают практически все разделы теоретического курса. В начале семестра до сведения каждого обучающегося доводится полный перечень лабораторных работ, которые ему надлежит выполнить и защитить до начала экзаменационной сессии. Темы ряда лабораторных работ могут опережать темы лекций. Поэтому из всех форм занятий по физике самостоятельная работа по подготовке к лабораторным занятиям наиболее важна.

В первом учебном семестре изучаются разделы: «Механика. Молекулярная физика и термодинамика». Во втором семестре – «Электричество. Электромагнетизм». В третьем – «Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика». Поэтому лабораторные занятия в каждом семестре проходят в соответствующих лабораториях.

На выполнение лабораторных работ выделяется по 32 академических часа в первом, втором и третьем семестрах. Данные методические рекомендации позволят студентам правильно спланировать свое время и качественно подготовиться к лабораторным занятиям.

## ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

**Таблица 1. Перечень лабораторных работ**

\п	Темы лабораторных работ	Количество часов	
		Очная	Заочная
	2	3	4
<b>Первый семестр</b>			
<b>Механика. Молекулярная физика и термодинамика</b>			
.	Расчет погрешностей эксперимента и представление экспериментальных данных. Определение объема параллелепипеда	4	
.	Изучение законов равноускоренного движения тел	4	
.	Изучение законов вращательного движения на крестообразном маятнике Обербека	4	
.	Определение момента инерции твердых тел по периоду крутильных колебаний	4	
.	Определение модуля Юнга	4	
.	Определение момента инерции маховика	4	
.	Определение коэффициента вязкости жидкости по методу Стокса	4	
.	Определение отношения $C_p/C_v$ теплоемкостей газа	4	
	<b>Итого за первый семестр:</b>	32	
<b>Второй семестр</b>			
<b>Электричество и магнетизм</b>			
.	Градуировка гальванометра и различные схемы его включения	4	
.	Исследование полезной мощности и КПД источника тока	4	
.	Измерение сопротивления при помощи моста Уитстона	4	
.	Изучение процессов зарядки и разрядки конденсаторов	4	
.	Изучение распределения магнитного поля соленоида и определение его индуктивности	4	
.	Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли	4	
.	Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнетрона	4	
.	Снятие кривой намагничивания и петли гистерезиса для магнитомягких материалов с помощью осциллографа.	4	
	<b>Итого за второй семестр:</b>	32	

<b>Третий семестр</b>			
<b>Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика</b>			
.	Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона	4	
.	Изучение явления дифракции с помощью лазерного излучения	4	
.	Изучение закона Малюса	4	
.	Вращение плоскости поляризации света оптически активными веществами	4	
.	Законы теплового излучения	4	
.	Изучение явления фотоэффекта с помощью вакуумного фотоэлемента	4	
.	Качественный спектральный анализ	4	
.	Определение массы электрона и радиуса первой боровской орбиты атома водорода	4	
	<b>Итого за третий семестр:</b>	<b>32</b>	
	<b>Итого:</b>	<b>96</b>	

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература

1. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. - 19-е и другие ранние изд., стер. - Москва: Академия, 2012, 2010, 2008 - 2004. - 557, [1] с.: ил. - (Высшее профессиональное образование) **(аб.184, чз. 11)**

2. Курс физики: учеб. пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. - 4-е изд., испр. - Москва: Высш. шк., 2002. - 718 с.: ил. **(аб.169, чз.1)**

### Дополнительная литература

3. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. - Изд. 4-е, перераб. - Москва: Наука, 1970. - Т. 1. Механика, колебания и волны, молекулярная физика. - 505 с.: ил. - Режим доступа: по подписке. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477374> - Текст: электронный.

4. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. - Изд. 4-е, перераб. - Москва: Наука, 1970. - Т. 2. Электричество. - 430 с.: ил. - Режим доступа: по подписке. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494689> - Текст : электронный.

5. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев; под ред. Л.Л. Енковского. - Изд. 3-е, доп., перераб. - Москва: Наука, 1970. - Т. 3. Оптика,

атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. - 527 с.: ил.  
- Режим доступа: по подписке. - URL:  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483316> - Текст: электронный.

### **Рекомендуемая литература к лабораторным занятиям**

6. В.С. Гнатюк, Н.Н. Морозов, О.Ю. Ярова. Лабораторный практикум по механике и молекулярной физике [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие по дисциплине «Физика» для студентов-бакалавров технических направлений и специальностей // Электрон. текст дан. (5,69 Мб). – Мурманск: МГТУ, 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301748, 191 с. Регистр. св-во от 30 июля 2013г. № 31046.

7. В.С. Гнатюк, З.Ф. Мурашова. Лабораторный практикум по электричеству и магнетизму [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие по дисциплине «Физика» для студентов-бакалавров технических направлений и специальностей // Электрон. текст дан. (2,19 Мб). – Мурманск: МГТУ, 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» №0321401444, 200 с. Регистр. св-во от 15 октября 2014г. № 35974.

8. Сборник лабораторных работ по физике. Ч. 2. Волновая оптика, атомная и ядерная физика / под ред. В. Н. Подымахина ; Ком. РФ по рыболовству, МГАРФ, каф. Физики. – Мурманск, 1995. – 76 с.

## **ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ**

### **Подготовка к лабораторной работе и получение допуска**

Подготовку к конкретной лабораторной работе рекомендуется начинать с ознакомления с описанием работы, приведенным в рекомендуемых выше методических указаниях или сборниках лабораторных работ [6-8], проработать теоретические вопросы по конспекту лекций или учебным пособиям [1-5].

Основные теоретические положения и записи, связанные с выполнением эксперимента непосредственно в лаборатории, должны быть отражены в бланке отчета работы.

Для отчетов лабораторных работ необходимо завести тетрадь, учитывая, что для оформления каждой работы понадобится до 5 листов. Тетрадь должна быть подписана согласно образцу (*приложение 1*).

К выполнению лабораторной работы обучающиеся допускаются только после собеседования с преподавателем, ведущим занятия, и при наличии бланка отчета лабораторной работы, подготовленного заранее до начала занятия. Вопросы, которые может задать преподаватель, дают возможность ему выяснить, знает ли студент требования техники безопасности, понимает ли, что будет измерять, и каким методом будет пользоваться. Проверить степень готовности к выполнению лабораторной работы можно, ответив на контрольные вопросы, приводимые в конце работы.

Бланк отчета необходимо начинать с *указания номера и названия лабораторной работы*.

Затем должны следовать четыре строчки: *допуск, выполнение, отчет, защита*. Отдельные виды работы (подготовка к лабораторному занятию и получение допуска, проведение измерений и предварительные расчеты, математическая обработка результатов измерений и сдача отчёта, защита теоретического материала) могут выполняться студентом в разные учебные дни. Поэтому в будущем преподаватель ставит подпись в соответствующей строчке и указывает дату окончания каждого этапа работы.

Далее в бланке указываются *цель работы, приборы и принадлежности, теоретические сведения, порядок измерений и обработка результатов*.

Раздел *«Теоретические сведения»* должен содержать основные теоретические положения, относящиеся к данной работе: формулировки физических законов, определения физических величин, единицы их измерения в СИ и табличные значения, если они существуют, описание явлений и методов, используемую рабочую формулу, с обязательной расшифровкой входящих в нее величин, ее вывод, необходимые рисунки и схемы.

В разделе *«Измерение и обработка результатов»* необходимо кратко перечислить последовательность действий при проведении измерений, указать расчетные формулы для определения как промежуточных, так и конечных физических величин. Этот раздел

обязательно должен содержать таблицы, в которые будут заноситься результаты измерений, расчетов и погрешностей. Образцы таблиц можно взять из «Методических указаний к лабораторным работам...», или нарисовать свои, более усовершенствованные. Таблицы обязательно должны содержать заголовки.

Для того чтобы получить допуск к выполнению работы, студент должен показать преподавателю бланк отчета лабораторной работы и ответить на заданные вопросы. Если преподаватель удовлетворен ответами, и бланк отчета соответствует предъявляемым требованиям (*образец бланка отчета приведен в приложении 2*), то обучающийся получает право выполнять лабораторную работу, при этом преподаватель ставит подпись в лабораторной тетради с указанием даты, когда был получен допуск.

### **Выполнение лабораторной работы и математическая обработка результатов**

После беседы с преподавателем и получения допуска к работе необходимо еще раз мысленно представить себе ход работы и приступить к проведению измерений. Все необходимые записи при выполнении эксперимента заносятся в бланк отчета лабораторной работы. В бланке не должно быть исправленных цифр, неверные цифры лучше зачеркнуть и записать рядом правильные.

До конца занятия необходимо выполнить пробные расчеты искомых физических величин и полученные результаты показать преподавателю. Если рассчитанные значения являются правильными, то преподаватель ставит подпись в строчке «выполнение». Если же результаты ошибочные, то следует найти ошибку и исправить ее. В противном случае измерения придется провести заново. *Если в лабораторной тетради обучающегося нет отметки о выполнении работы, то соответственно работа считается не выполненной.*

Окончательную обработку результатов и все необходимые вычисления нужно выполнять во время самоподготовки и заносить в бланк отчета работы.

*Обработка результатов измерений* является важнейшей частью любого физического эксперимента. Правила обработки экспериментальных данных зависят от видов измерений (прямых или

косвенных) и их возможных погрешностей (систематических, случайных или грубых). **Методики обработки результатов прямых и косвенных измерений** и представления экспериментальных данных учетом правил приближенных вычислений приведены в **приложениях 3, 4 и 5 соответственно**.

Все расчёты физических величин и их погрешностей должны быть представлены в лабораторной тетради. Каждое выполняемое действие рекомендуется сопровождать письменными пояснениями.

Часто в эксперименте требуется представить результаты измерений в виде графической зависимости одной физической величины от другой. **Построение графиков** подчиняется определённым требованиям. Правила графического оформления результатов измерений представлены в **приложении 6**.

Отчет по лабораторной работе должен оканчиваться **выводами**, касающимися проведенного эксперимента. В выводах следует записать окончательные результаты исследования, сравнить их с табличными значениями, если таковые имеются. Когда измеренные значения в пределах погрешности не совпадают с табличными значениями, то проанализировать причину несовпадения. Если в работе проверяется экспериментально какой-либо закон, то необходимо указать, выполняется ли этот закон качественно (количественно) или не выполняется, проанализировать полученные погрешности. При исследовании в работе какой-либо зависимости, в выводе, прежде всего, должен быть описан характер этой зависимости.

### **Подготовка к защите лабораторных работ**

После оформления отчета студент должен получить зачет по работе, т. е. защитить отчет. Защита отчетов осуществляется в начале лабораторного занятия или во время консультаций в виде ответов обучающегося на вопросы преподавателя.

По каждой лабораторной работе студент должен знать ответы на теоретические вопросы, выносимые на защиту (эти вопросы перечислены ниже); уметь вывести расчетные формулы и обладать методами проведения физических измерений и методами корректной оценки погрешностей при проведении физического эксперимента.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### Раздел «Механика»

#### *Лабораторная работа «Определение объема параллелепипеда»*

1. Прямое и косвенное измерение.
2. Абсолютная и относительная погрешности.
3. Случайная и систематическая погрешности, промах.
4. Расчет случайной погрешности прямого измерения: среднее значение физической величины в серии из  $n$  измерений; среднеквадратичное отклонение (среднеквадратичная погрешность среднего арифметического значения измеряемой величины); доверительный интервал и доверительная вероятность, коэффициент Стьюдента; формула для расчета случайной погрешности прямого измерения.
5. Расчет приборной погрешности прямого измерения для измерительных приборов, обладающих и не обладающих классом точности.
6. Расчет случайной и приборной погрешности косвенного измерения методом «дифференцирования».
7. Расчет суммарной погрешности измерения.
8. Точность расчетов численного значения физической величины и погрешности.
9. Запись результата измерений физической величины с учетом погрешности.

#### *Лабораторная работа «Изучение законов равноускоренного движения тел на приборе Атвуда»*

1. Путь, перемещение, мгновенная скорость и мгновенное ускорение при поступательном движении материальной точки.
2. Равномерное и равнопеременное движения.
3. Уравнения скоростей и координат в случае равномерного и равноускоренного движений вдоль гладкой прямой.
4. Масса, сила, импульс.
5. Динамика поступательного движения материальной точки: законы Ньютона.
6. Вывести расчетную формулу для ускорения при проверке второго закона Ньютона.

***Лабораторная работа «Изучение законов вращательного движения на крестообразном маятнике Обербека»***

1. Момент инерции материальной точки, системы материальных точек с дискретным и непрерывным распределением массы относительно оси вращения. Физический смысл момента инерции.
2. Теорема Штейнера.
3. Момент силы относительно полюса, оси.
4. Угловое ускорение. Связь линейного и углового ускорения.
5. Основной закон динамики вращательного движения абсолютно твердого тела.
6. Вывести формулы для расчетов в эксперименте момента сил и углового ускорения системы.

***Лабораторная работа «Определение момента инерции твердого тела по периоду крутильных колебаний»***

1. Момент инерции материальной точки, системы материальных точек с дискретным и непрерывным распределением массы относительно оси вращения. Физический смысл момента инерции.
2. Момент силы относительно полюса, оси.
3. Угловое ускорение.
4. Основной закон динамики вращательного движения абсолютно твердого тела.
5. Закон Гука для вращательного движения (связь момента силы и угла поворота).
6. Из каких соображений можно заключить, что тело совершает гармонические колебания и получить формулу периода крутильных колебаний?
7. Вывести формулы моментов инерции сплошного и полого дисков.
8. Вывести расчетную формулу для момента инерции тела неправильной геометрической формы.

***Лабораторная работа «Определение модуля Юнга»***

1. Виды деформаций: упругие, пластические, остаточные.
2. Абсолютное и относительное удлинение (сжатие).
3. Нормальное напряжение.

4. Закон Гука для упругих деформаций. Вывести формулу закона Гука для деформации растяжения (сжатия).
5. Физический смысл модуля Юнга.
6. Диаграмма напряжений.
7. Вывести расчетную формулу для модуля Юнга.

***Лабораторная работа «Определение момента инерции маховика»***

1. Момент инерции материальной точки, системы материальных точек с дискретным и непрерывным распределением массы относительно оси вращения. Физический смысл момента инерции.
2. Момент силы относительно полюса, оси.
3. Основной закон динамики вращательного движения абсолютно твердого тела.
4. Аналогия между законами динамики поступательного и вращательного движения.
5. Кинетическая энергия тела, участвующего в поступательном и вращательном движении.
6. Закон сохранения энергии применительно к условиям данной работы.
7. Как учитывается в данной работе наличие сил трения?
8. Вывести расчетную формулу для момента инерции маховика.

**Разделы «Молекулярная физика и термодинамика»**

***Лабораторная работа «Определение теплоемкости металлов методом охлаждения»***

1. Теплоемкость тела, удельная и молярная теплоемкости, единицы их измерения.
2. Степени свободы. Степени свободы одно-, двух- и трехатомных молекул.
3. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекулы.
4. Закон Дюлонга - Пти.
5. Вывести расчетную формулу для определения теплоемкости образца.

***Лабораторная работа***

***«Определение отношения  $c_p / c_v$  теплоемкостей газа»***

1. Уравнение Клапейрона - Менделеева.

2. Теплоемкость тела, удельная и молярная теплоемкости, единицы их измерения.
3. Степени свободы. Степени свободы одно-, двух- и трехатомных молекул.
4. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекулы.
5. Первый закон термодинамики, его применение к изопроцессам.
6. Теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме. Их выражение через степени свободы молекулы.
7. Уравнение Майера (вывод).
8. Адиабатный процесс.
9. Уравнение Пуассона для адиабатного процесса (вывод). Коэффициент Пуассона.
10. Сравнение изотермического и адиабатного процессов.
11. Вывести расчетную формулу для определения коэффициента Пуассона.

***Лабораторная работа «Определение коэффициента вязкости жидкости по методу Стокса»***

1. Явления переноса.
2. Диффузия, теплопроводность, внутреннее трение. Какая физическая величина переносится в каждом из этих явлений?
3. Механизм переноса импульса в газах с точки зрения молекулярно-кинетической теории.
4. Градиент скорости.
5. Плотность потока импульса.
6. Закон Ньютона для вязкого трения.
7. Коэффициент динамической вязкости: физический смысл, единицы измерения, зависимость от температуры.
8. Вывести расчетную формулу для определения коэффициента динамической вязкости жидкости по методу Стокса.

**Раздел «Электричество»**

***Лабораторная работа «Градуирование гальванометра и различные схемы его включения»***

1. Гальванометры: ток полного отклонения  $I_r$ , внутреннее сопротивление  $R_r$ , напряжение полного отклонения  $U_r$ .

2. Цена деления, чувствительность, класс точности прибора.
3. Схемы включения гальванометра в цепь для использования в качестве амперметра и вольтметра.
4. Первое и второе правила Кирхгофа для разветвленных цепей.
5. Расчет шунта и дополнительного сопротивления.
6. Имеется гальванометр ( $I_2 = 5 \text{ мА}$ ,  $R_2 = 50 \text{ Ом}$ ). Рассчитать дополнительное сопротивление и шунт для преобразования данного гальванометра в вольтметр на 50 В и амперметр на 0,5 А.

***Лабораторная работа «Исследование полезной мощности и КПД источника постоянного тока»***

1. Электрический ток и условия его существования.
2. Сила и плотность тока.
3. Источник тока. Сторонние силы.
4. Электродвижущая сила и напряжение участка цепи.
5. Закон Ома для неоднородного участка цепи и для замкнутой цепи.
6. Ток короткого замыкания.
7. Работа электрического тока.
8. Мощность тока полная и полезная. Мощность потерь.
9. Зависимость полезной мощности от силы тока и сопротивления цепи.
10. Условие, при котором полезная мощность максимальна.
11. КПД источника тока. Его зависимость от силы тока и сопротивления цепи.

***Лабораторная работа «Измерение сопротивления при помощи моста Уитстона»***

1. Сопротивление проводников, удельное сопротивление.
2. Зависимость сопротивления от материала и размеров проводника.
3. Зависимость сопротивления проводника от температуры.
4. Законы параллельного и последовательного соединения проводников.
5. Правила Кирхгофа.
6. Порядок расчета разветвленных цепей постоянного тока.
7. Мост Уитстона. Условие равновесия моста.
8. Расчет неизвестного сопротивления с помощью моста Уитстона.

## Раздел «Электромагнетизм»

### *Лабораторная работа «Изучение распределения магнитного поля соленоида и определение его индуктивности»*

1. Индукция и напряженность магнитного поля.
2. Магнитный момент контура с током.
3. Поток магнитной индукции. Теорема Остроградского – Гаусса для магнитного поля.
4. Закон Био – Савара – Лапласа.
5. Закон полного тока для магнитного поля в вакууме.
6. Магнитная индукция соленоида конечной и бесконечной длины.
7. Явления электромагнитной индукции, закон Фарадея.
8. Самоиндукция. Э.д.с. самоиндукции.
9. Индуктивность соленоида. Физический смысл индуктивности.

### *Лабораторная работа «Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли»*

1. Магнитное поле. Индукция и напряженность магнитного поля.
2. Природа магнитного поля Земли.
3. Строение магнитного поля Земли.
4. Сведения о магнитном поле Земли и его изменениях.
5. Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли  $B_x$ , магнитное склонение и магнитное наклонение.
6. Тангенс-буссоль. Его назначение.

### *Лабораторная работа «Определение удельного заряда электрона методом магнетрона»*

1. Магнитное поле и его характеристики (вектор магнитного момента рамки с током, вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  и его силовые линии).
2. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
3. Сила Лоренца, ее модуль и направление.
4. Траектории движения частицы в магнитном поле.
5. Суть метода магнетрона.
6. Ускорители заряженных частиц.
7. Вывод расчётной формулы удельного заряда электрона.

## **Раздел «Колебания и волны»**

### ***Лабораторная работа «Определение ускорения свободного падения тел с помощью физического маятника»***

1. Закон Всемирного тяготения.
2. Напряженность и потенциал поля тяготения.
3. Сила тяжести. Свободное падение.
4. Ускорение свободного падения, его зависимость от географической широты и высоты над поверхностью Земли.
5. Колебания. Амплитуда, период, частота и фаза колебаний.
6. Математический и физический маятники, их периоды колебаний.
7. Приведенная длина физического маятника.
8. Физический смысл момента инерции. Теорема Штейнера.
9. Из каких соображений можно заключить, что тело совершает гармонические колебания и получить формулу периода?
10. Вывести расчетную формулу для определения ускорения свободного падения.

### ***Лабораторная работа «Изучение явления стоячих звуковых волн и определение скорости звука в воздухе»***

1. Амплитуда, период и фаза колебаний.
2. Волновые процессы. Продольные и поперечные волны.
3. Уравнение волны. Длина волны и фазовая скорость.
4. Образование стоячих волн. Узлы и пучности.
5. Почему стоячая волна не переносит энергию?
6. Какие волны называются звуковыми?
7. От чего зависит скорость звуковых волн?

## **Разделы «Оптика. Атомная и ядерная физика»**

### ***Лабораторная работа «Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона»***

1. Интерференция света. Принцип Гюйгенса.
2. Когерентные волны. Волновой цуг, время когерентности, длина когерентности.
3. Получение когерентных волн.
4. Оптическая длина пути. Оптическая разность хода.

5. Условия максимума и минимума при интерференции света.
6. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона.
7. За счет сложения каких колебаний образуются кольца Ньютона?
8. В каком случае происходит потеря половины длины световой волны?
9. Почему при освещении линзы и пластинки белым светом образуются радужные кольца?

***Лабораторная работа «Изучение явления дифракции лазерного излучения»***

1. Дифракция света. Условие наблюдения дифракции.
2. Принцип Гюйгенса - Френеля. Метод зон Френеля.
3. Дифракция на щели и дифракционной решетке.
4. Формула дифракционной решетки. Угол дифракции.
5. Как влияет увеличение числа щелей на дифракционную картину?
6. Разрешающая способность дифракционной решетки.
7. История создания лазера.
8. Спонтанное и вынужденное излучения, их отличия.
9. Инверсная заселенность.
10. Механизм усиления света в активной среде.
11. Принцип работы и устройство лазера.
12. Особенности лазерного излучения.

***Лабораторная работа «Изучение закона Малюса»***

1. Электромагнитная природа света.
2. Естественный и поляризованный свет.
3. Плоскость поляризации и плоскость колебаний.
4. Степень поляризации.
5. Поляризатор и анализатор.
6. Закон Малюса.
7. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков.
8. Закон Брюстера.
9. Явление двойного лучепреломления.

***Лабораторная работа «Вращение плоскости поляризации света оптически активными веществами»***

1. Чем отличается естественный свет от плоскополяризованного?

2. Могут ли продольные волны быть плоскополяризованными? Почему?
3. Что называется плоскостью поляризации? Что называется плоскостью колебаний?
4. От чего зависит угол поворота плоскости поляризации при прохождении света через оптически активное вещество?

***Лабораторная работа «Качественный спектральный анализ»***

1. Дисперсия света. Дисперсия показателя преломления вещества.
2. Преломление света в призме.
3. Классическая электронная теория дисперсии Х. Лоренца.
4. Нормальная и аномальная дисперсия.
5. Суть качественного спектрального анализа.
6. Устройство монохроматора.
7. Монохроматический свет.

***Лабораторная работа «Законы теплового излучения»***

1. Особенности теплового излучения.
2. Характеристики теплового излучения: поток излучения, энергетическая светимость, спектральная плотность энергетической светимости по частоте и длине волны, поглощательная и отражательная способность.
3. Абсолютно черное тело. График распределения энергии в спектре излучения абсолютно черного тела.
4. Законы Кирхгофа, Стефана – Больцмана и Вина.
5. Формула Рэлея – Джинса. Суть «ультрафиолетовой катастрофы».
6. Квантовая гипотеза Планка, формула Планка.
7. Оптическая пирометрия. Пирометры. Яркостная температура.

***Лабораторная работа «Изучение явления фотоэффекта с помощью вакуумного фотоэлемента»***

1. Явление фотоэффекта. Внешний, внутренний и вентильный фотоэффект.
2. Законы внешнего фотоэффекта.
3. Работа выхода и красная граница фотоэффекта.
4. Квантовая гипотеза Эйнштейна. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

5. Строение фотоэлемента.
6. Вольт-амперная характеристика вакуумного фотоэлемента.
7. Ток насыщения и запирающий потенциал.

***Лабораторная работа «Определение массы электрона и радиуса первой боровской орбиты атома водорода»***

1. Устройство монохроматора.
2. Дисперсия света. Преломление света в призме.
3. Опыты Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Модель атома Резерфорда, ее проблемы.
4. Спектр атома водорода. Серийная формула.
5. Постулаты Бора.
6. Правило квантования момента импульса.
7. Силы, действующие на электрон в атоме водорода.
8. Радиус боровской орбиты, энергия электрона в водородоподобной системе.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Обложка лабораторной тетради**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Мурманский государственный технический университет»**

Кафедра общей и прикладной физики

**ТЕТРАДЬ**  
**для лабораторных работ по дисциплине «Физика»**  
**по разделам «Механика. Молекулярная физика и термодинамика»**

Студента \_\_\_\_\_ курса  
института Морская академия,  
группа \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ф.и.о.

Проверил:

\_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_

Мурманск - 20\_\_\_\_\_



### ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Методика обработки результатов прямых измерений

Пусть  $x$  - измеряемая физическая величина. Выполнив  $n$  измерений, получают набор значений  $x_i$  ( $i$  – номер измерения,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Эти значения записывают с той точностью, которую дают средства измерения.

Вычисляют среднее арифметическое значение измеряемой величины:

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}. \quad (1)$$

Его округляют, сохраняя только надежные цифры и не более одной не вполне надежной (смотреть приложение 5).

Находят погрешности отдельных измерений:

$$\Delta x_i = \langle x \rangle - x_i. \quad (2)$$

Определяют среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{\langle x \rangle}$  серии измерений:

$$\sigma_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + \dots + (\Delta x_n)^2}{n(n-1)}}. \quad (3)$$

Задают значение доверительной вероятности согласно ГОСТ 8.207-76 (в обычных лабораторных исследованиях  $p = 0,95$ ).

По таблице 2 находят значение коэффициента Стьюдента  $t_{pn}$ , которое зависит от числа измерений  $n$  и доверительной вероятности  $p = 0,95$ .

**Таблица 2. Значения коэффициентов Стьюдента для  $p = 0,95$**

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{pn}$	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,35	2,31	2,26

Вычисляют случайную погрешность серии измерений:

$$\Delta_{сл}x = t_{pn}\sigma_{\langle x \rangle}, \quad (4)$$

Если величина случайной погрешности результата окажется сравнимой с величиной погрешности прибора  $\Delta_{пр}x$ , то считают полную погрешность измерений по формуле:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta_{сл}x)^2 + (\Delta_{пр}x)^2}. \quad (5)$$

При вычислении полной погрешности удобно пользоваться

следующим правилом: если одна из ошибок  $\Delta_{сл} x$  или  $\Delta_{пр} x$  превышает другую в 3 и более раз, то меньшей можно пренебречь.

Записывают окончательный результат:

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x. \quad (6)$$

Погрешность округляют до одной значащей цифры, предпочтительно с избытком (т.е. в сторону большего значения). Среднее значение числа и его погрешность всегда записывают так, чтобы их последние цифры принадлежали одному и тому же десятичному разряду.

Указывают относительную погрешность, выраженную в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle}, \% \quad (7)$$

Внимание, относительная погрешность  $\varepsilon$ , превышающая 15%, свидетельствует о недостаточном усердии учащегося при выполнении лабораторной работы.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Методика обработки результатов косвенных измерений

Результат эксперимента редко получают путем измерений искомой физической величины. В ряде случаев эта величина является функцией одной или нескольких измеряемых величин. Следовательно, косвенные измерения физической величины представляют собой последовательность вычислений после того, как проведены соответствующие прямые измерения. Очевидно, что погрешность косвенных измерений определенным образом связана с погрешностью прямых измерений, которые в свою очередь связаны с погрешностью приборов и условиями испытаний.

Допустим, что при косвенных измерениях определяется физическая величина  $V = f(a, b, c)$ , которая является функцией от физических величин  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . На практике экспериментально проводится серия прямых измерений, в результате которых определяется набор данных  $a_i$ ,  $b_i$ , и  $c_i$ .

Для каждой серии прямых измерений проводят обработку результатов так, как описано выше (приложение 3). Вычисляют: средние значения  $\langle a \rangle$ ,  $\langle b \rangle$ ,  $\langle c \rangle$  (1); средние квадратичные отклонения  $\sigma_{\langle a \rangle}$ ,  $\sigma_{\langle b \rangle}$ ,  $\sigma_{\langle c \rangle}$  (3); случайные погрешности  $\Delta_{сл}a$ ,  $\Delta_{сл}b$ ,  $\Delta_{сл}c$  (4).

Определяют среднее значение величины  $\langle V \rangle$ :

$$\langle V \rangle = f(\langle a \rangle, \langle b \rangle, \langle c \rangle). \quad (8)$$

Оценивают среднее квадратичное отклонение искомой величины по выражению:

$$\sigma_{\langle V \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 \sigma_{\langle a \rangle}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 \sigma_{\langle b \rangle}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c}\right)^2 \sigma_{\langle c \rangle}^2}, \quad (9)$$

где  $\frac{\partial f}{\partial a}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial b}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial c}$  представляют собой частные производные функции  $f(a, b, c)$  по переменным  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

Дифференцируя функцию  $f(a, b, c)$  по  $a$ , необходимо считать постоянными величины  $b$ ,  $c$ , дифференцируя по  $b$  - величины  $a$ ,  $c$  и т.д. Значения частных производных  $\frac{\partial f}{\partial a}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial b}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial c}$  вычисляются при  $a = \langle a \rangle$ ,  $b = \langle b \rangle$ ,  $c = \langle c \rangle$ .

Определяют случайную погрешность по формуле

$$\Delta_{\text{сл}}V = t_{\text{пр}}\sigma_{\langle V \rangle}, \quad (10)$$

или по формуле

$$\Delta_{\text{сл}}V = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 (\Delta_{\text{сл}}a)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 (\Delta_{\text{сл}}b)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c}\right)^2 (\Delta_{\text{сл}}c)^2}, \quad (11)$$

В таблице 3 приведены наиболее употребляемые в физическом практикуме формулы функциональных зависимостей  $V = f(a, b, c)$  и их случайных погрешностей.

**Таблица 3. Наиболее употребляемые функции и их погрешности**

Математическая операция	Случайная погрешность $\Delta_{\text{сл}}V$
$V = a + b + c$	$\sqrt{(\Delta_{\text{сл}}a)^2 + (\Delta_{\text{сл}}b)^2 + (\Delta_{\text{сл}}c)^2}$
$V = a - b$	$\sqrt{(\Delta_{\text{сл}}a)^2 + (\Delta_{\text{сл}}b)^2}$
$V = abc$	$\sqrt{(\langle b \rangle \langle c \rangle \Delta_{\text{сл}}a)^2 + (\langle a \rangle \langle c \rangle \Delta_{\text{сл}}b)^2 + (\langle a \rangle \langle b \rangle \Delta_{\text{сл}}c)^2}$
$V = \frac{a}{b}$	$\sqrt{\left(\frac{\Delta_{\text{сл}}a}{\langle b \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{сл}}b}{\langle a \rangle}\right)^2}$
$V = a(b + c)$	$\sqrt{(\langle b \rangle + \langle c \rangle)^2 (\Delta_{\text{сл}}a)^2 + \langle a \rangle^2 ((\Delta_{\text{сл}}b)^2 + (\Delta_{\text{сл}}c)^2)}$
$V = Aa + Bb$ , A и B - постоянные	$\sqrt{A^2 (\Delta_{\text{сл}}a)^2 + B^2 (\Delta_{\text{сл}}b)^2}$

Определяют погрешности приборов, используемых для прямых измерений физических величин  $\Delta_{\text{пр}}a$ ,  $\Delta_{\text{пр}}b$  и  $\Delta_{\text{пр}}c$ . Оценивают приборную погрешность физической величины  $V$  по формуле, аналогичной формуле (11):

$$\Delta_{\text{пр}}V = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 (\Delta_{\text{пр}}a)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 (\Delta_{\text{пр}}b)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c}\right)^2 (\Delta_{\text{пр}}c)^2}. \quad (12)$$

Полную погрешность вычисляют по формуле:

$$\Delta V = \sqrt{(\Delta_{\text{сл}}V)^2 + (\Delta_{\text{пр}}V)^2}. \quad (13)$$

Окончательный результат записывают в виде:

$$V = \langle V \rangle \pm \Delta V. \quad (14)$$

Указывают относительную погрешность, выраженную в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{\langle V \rangle}, \%. \quad (15)$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Правила приближенных вычислений<sup>1</sup>

При обработке результатов косвенных измерений приходится производить различные действия над приближенными числами. При этом следует помнить, что точность конечного результата зависит только от точности произведенных измерений и ее нельзя повысить за счет точности вычислений. Поэтому вычисления следует производить только до того предела точности, какой имеет место при измерении. Чтобы избежать ненужных затрат труда и времени, следует соблюдать следующие правила действий над приближенными числами.

1. Приближенные числа надо округлять, сохраняя в них только надежные цифры и не более одной не вполне надежной. Остальные цифры следует отбрасывать или заменять нулями.

Пример. Произведя четыре раза измерения расстояния между какими-то двумя точками, получили следующие значения: 2805,8 м; 2889,3 м; 2895,0 м; 2830,5 м. Среднее значение:

$$\frac{2805,8 + 2889,3 + 2895,0 + 2830,5}{4} = 2855,15 \text{ м.}$$

Цифры тысяч и сотен во всех измерениях получились одинаковыми, цифра же десятков колеблется. Поэтому цифры тысяч (2) и сотен (8) являются надежными. Цифра же десятков не вполне надежна. Следовательно, среднее округляем до десятков и получаем: 2860 м.

2. При сложении и вычитании приближенных чисел в результате отбрасывают по правил округления цифры тех разрядов справа, в которых нет значащих цифр хотя бы в одном из данных.

*Значащими цифрами называются все верные цифры числа, кроме нулей, стоящих впереди числа.* Пример:  $125 + 1,9 = 126,9 \approx 127$ . Округление проведено до целых единиц, так как десятичные знаки числа 125 неизвестны.

3. При умножении и делении приближенных чисел в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их в приближенном числе с наименьшим числом значащих цифр. Прочие

<sup>1</sup> При разработке данных методических указаний автор использовал работу: «Методические указания к самостоятельной работы по физике». Сост.: А.Б. Власов, И.Б. Вихорев, В.С. Гнатюк, А.В. Федотов. Мурманск, 1987.

цифры заменяются нулями или отбрасываются по правилам округления. Примеры:

1)  $127 * 17 = 2159 \approx 2200$ ;

2)  $35 * 1,5 = 52,5 \approx 53$ ;

3)  $346 * 5,2 = 1799,2 \approx 1800$ ;

4)  $\frac{5,48}{15} = 0,365 \approx 0,37$ ;

5)  $\frac{220}{53} \approx 42$ .

4. При возведении в квадрат и куб в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет возводимое в степень приближенное число. Примеры:

1)  $1,5^2 = 2,25 \approx 2,3$ ;

2)  $2,1^3 = 9,261 \approx 9,3$ .

5. При извлечении корня в результате следует брать столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное приближенное число. Примеры:

1)  $\sqrt{3,2} \approx 1,8$ ;

2)  $\sqrt{25} = 5,0$ .

6. При вычислении промежуточных результатов следует брать на одну цифру больше, чем рекомендуют предыдущие правила.

7. При округлении приближенных чисел и отбрасывании лишних знаков на конце числа последнюю из сохраняемых цифр увеличивают на единицу, если отбрасываемая цифра равна 5 или больше 5, и оставляют без изменения, если она меньше 5. Примеры:

1)  $23,4 \approx 23$ ;

2)  $0,565 \approx 0,57$ .

8. Как правило, значение ошибки измерений указывают до одной значащей цифры.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Представление результатов в виде графиков

Часто итоги эксперимента представляют графически. Графическое представление эксперимента полезно, когда устанавливают вид функциональной связи между величинами; определяют среднее значение при известной функциональной связи; изучают связь, между величинами которых трудно представить функцию в виде формулы (аналитически).

График строят только на миллиметровой бумаге или бумаге со специальными координатными сетками. Принято по оси абсцисс откладывать ту величину, изменения которой являются причиной изменений другой (аргумент), по оси ординат – функцию.

На каждой оси обязательно указывают обозначение и единицы измерения величины. При этом множитель, определяющий порядок величины, включают обычно в единицы измерения, например:  $I$ , мА или  $I \cdot 10^{-3}$  мА, или  $P \cdot 10^3$  Вт.

Масштаб графика определяется погрешностью измерения величин, отложенных по осям. Погрешность должна быть видна на графике, т.е. должна представляться в выбранном масштабе отрезком достаточной величины. Одна клетка масштабной сетки должна соответствовать удобному числу 1, 2, 5, 10... (но не 3,7, 13...) единиц изображаемой на графике величины, что позволяет легко отсчитывать доли отрезка.

Масштаб наносят на оси графика в виде равноотстоящих чисел, например: 10, 12, 14 или 0,78; 0,80; 0,82... Не следует расставлять числа слишком густо, достаточно указать на оси 3-5 чисел. Надписи под делениями наносят вдоль всей оси.

Масштабы по обеим осям выбирают независимо друг от друга, но так, чтобы область изменения измеренных величин занимала все поле чертежа. Для этого границы интервалов берут близкими к наименьшему и наибольшему из серии измеренных значений. На графике не обязательно должно поместиться начало координат. Нулевую точку помещают лишь в том случае, если она близка к экспериментально исследованной области, или если необходимо провести экстраполяцию графика к нулевой точке.

Точки следует наносить на график очень аккуратно и четко, не подписывая их численные значения – они приводятся в таблице. Погрешность измерения изображают на графике с помощью крестиков,

нанесенных поверх точек. Крестики занимают некую область в виде прямоугольника. Если по результатам измерений величин  $a$  и  $b$  строят график, то на графике получают не точку, а область со сторонами  $2\Delta a$  и  $2\Delta b$ , где  $\Delta a$  и  $\Delta b$  - погрешности измерений величин.

Например, исследуют движение шарика, брошенного горизонтально. Для этого измеряют координаты летящего шарика в разные моменты времени его движения. Данные заносятся в таблицу 4.

**Таблица 4. Зависимость координат шарика от времени**

$t, \text{ с}$	0	0,05	0,10	0,15	0,20
$x, \text{ см}$	0	5,5	13,5	17,5	24
$y, \text{ см}$	0	1,5	4,5	11,5	20

Погрешность измерения координат равна 1 см, а промежутков времени – 0,01 с. При построении графика зависимости  $y(t)$  каждую точку располагают в центре прямоугольника со сторонами 2 см и 0,02 с. Кривую на графике проводят тонкой плавной непрерывной линией, избегая изломов и перегибов, так, чтобы она проходила через все области (рис.1). Не следует стремиться провести ее через каждую точку: точки должны лежать по обе стороны от кривой как можно ближе к ней.

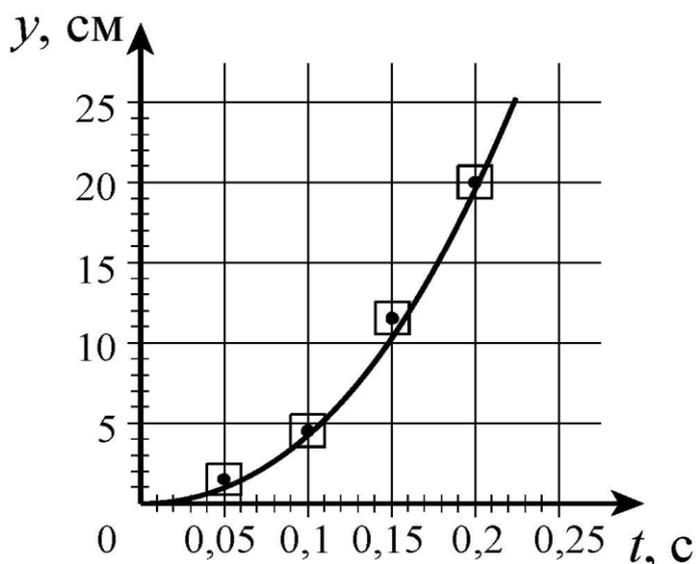


Рис.1. График зависимости координаты  $y$  от времени  $t$

Если вид зависимости известен заранее, то проводят теоретическую кривую. Прямую линию на графике проводят карандашом по линейке, кривую проводят от руки. Помните, что результат эксперимента изображен именно точками, а кривая – это только Ваше толкование результата,

которое может быть неоднозначным. Имейте в виду, что всякая особенность кривой (излом, резкое изменение кривизны, максимум, минимум и т.п.) требуют специального теоретического обоснования.

В случае, если зависимость между исследуемыми величинами является линейной, прямую проводят через среднюю точку таким образом, чтобы сумма отклонений точек «над» и «под» проведённой прямой была примерно одинакова<sup>2</sup>. Координаты средней точки определяются выражениями:

$$\langle x \rangle = \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)}{N}, \langle y \rangle = \frac{(\sum_{i=1}^N y_i)}{N}, \quad (16)$$

где  $N$  – общее число точек на графике.

График обязательно подписывают, указывая точное описание зависимости, которую он показывает; разъясняют обозначения опытных точек и кривых, если их несколько. Заголовок принято располагать либо выше графика, либо под ним.

---

<sup>2</sup> Отклонением точки от кривой называется расстояние, измеренное по перпендикуляру, опущенному из точки на кривую.